

ORME AU BOULET
SUR LA RUE ST-LOUIS DANS LE VIEUX-QUÉBEC

Expertise
de la condition structurale
de l'arbre
et
perspectives de conservation
en lien avec des travaux futurs
de construction et d'aménagement
à proximité

RAPPORT D'ÉTUDE PRÉPARÉ
LE 15 OCTOBRE 2020

POUR
VILLE DE QUÉBEC

DÉPOSÉ PAR



233, boul. Ste-Rose Bureau 420 Laval, QC H7L 1L7 Canada
Tél.: 450-628-1291 • Fax: 450-628-6196
nfu@nadeauforesterieurbaine.com
www.nadeauforesterieurbaine.com

TABLE DES MATIÈRES

	<i>page</i>
1. Mise en contexte, mandat et équipe de professionnels.....	1
– équipe de professionnels	1
2. Condition de l’arbre et environnement	2
2.1. Description générale de l’arbre et environnement	2
– environnement.....	2
2.2. Méthodologie générale.....	2
2.3. Condition de santé physiologique	3
2.4. Condition structurale du tronc.....	3
– défauts structuraux principaux	3
– méthodologie des tests.....	4
– compréhension générale des tests avec le tomographe.....	4
– compréhension générale des tests avec le résistographe	5
– résultats des tests – niveau de 80 cm du sol	5
– résultats des tests – niveau de 160 cm du sol	6
– résultats des tests – niveau de 258 cm du sol	6
– résultats des tests – niveau de 340 cm du sol	6
– résultats des tests – niveau des racines d’ancrage	7
2.5. Autres défauts structuraux dans la cime.....	7
3. Analyse de la condition structurale et de sécurité du voisinage	8
3.1. Condition structurale – analyse de premier niveau	8
3.2. Condition structurale – analyse avancée de second niveau	9
– observations visuelles sur le tronc et fibre de bois de l’orme	9
– vitesse de développement de la carie.....	10
3.3. Analyse de probabilité de risque pour la sécurité du voisinage	11
– origine et compréhension générale	
de la méthodologie de fonctionnement du QTRA	11
– estimation du degré de risque d’accident appliqué au cas de l’orme au boulet	13
– discussion sur le degré estimé de risque d’accident grave ou tragique	
appliqué au cas de l’orme au boulet	15
3.4. Système de sécurisation de l’arbre	16
– description du système de support proposé	16
4. Travaux de construction et d’aménagement projetés	
et conservation de l’orme au boulet.....	19
4.1. Survol des travaux projetés	19
4.2. Système racinaire	19
– généralités sur le système racinaire des arbres	19
– cas de l’orme au boulet.....	19

	<i>page</i>
4.3. Planification des travaux adaptée à l'orme	20
– puits d'exploration et examen de l'intérieur des conduits d'égout existants	20
– réfection des conduits d'égout et d'aqueduc, et du pavage de rue.....	21
– implication professionnelle en foresterie urbaine.....	21
5. Conclusion.....	22
Annexe 1 : Localisation et photos de l'orme au boulet.....	<i>III</i>
Annexe 2 : Tests sur le tronc au tomographe et au résistographe	<i>X</i>
Annexe 3 : Comparaisons entre les tests au tomographe de 2009, 2018 et 2020.....	<i>XXVII</i>
Annexe 4 : Calculs de probabilités de risques pour la sécurité du voisinage avec la méthode QTRA.....	<i>XXXII</i>
Annexe 5 : Ébauche d'une structure de support de l'arbre	<i>XXXVI</i>
Annexe 6 : Travaux de construction et d'aménagement projetés.....	<i>XL</i>

1. MISE EN CONTEXTE, MANDAT ET ÉQUIPE DE PROFESSIONNELS

L'orme d'Amérique le plus célèbre de la Ville de Québec et ayant la plus grande valeur, patrimoniale notamment, se trouve sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec. En plus d'avoir un boulet de canon encastré dans son tronc, ce dernier comporte notamment au même endroit une importante cavité.

À la demande de la Ville de Québec, le mandat de *Nadeau Foresterie Urbaine Inc.* (NFU) a été de procéder dans un premier temps à l'expertise complète, principalement de la condition structurale, de l'orme en question. Par la suite, à la lumière de cette expertise et selon les conclusions qui en ont découlé, il s'agissait d'évaluer de manière préliminaire la faisabilité de sa conservation dans le contexte de travaux futurs de construction et d'aménagement devant se dérouler à proximité.

◆ Équipe de professionnels

Pour les fins de la présente expertise, une équipe constituée de deux ingénieurs forestiers – respectivement Luc Nadeau et Roxanne Maheu –, s'est rendue sur les lieux le 27 août dernier. Tous deux sont également arboriculteurs certifiés ISA¹ en plus d'avoir les accréditations pour l'utilisation des systèmes britanniques et américains d'évaluation avancée des risques associés aux arbres QTRA² et TRAQ³.

Par la suite, pour l'évaluation de solutions permettant la conservation en place de cet orme de manière sécuritaire, Marc Prieur, avec et sa longue expérience pratique, s'est joint à l'équipe. Il a permis de compléter le travail d'analyse ainsi que proposé des avenues constructives de solutions. Marc Prieur, B. ing., était anciennement entrepreneur en arboriculture réputé. Il a donc une très longue expérience (près de 45 ans) dans le domaine de l'arboriculture et il agit comme gestionnaire des chantiers de construction avec préservation des arbres pour notre firme. Il est également Arboriculteur certifié ISA en plus de détenir lui aussi les accréditations TRAQ et QTRA.

¹ ISA: International Society of Arboriculture.

² QTRA: Quantified Tree Risk Assessment.

³ TRAQ: Tree Risk Assessment Qualification.

2. CONDITION DE L'ARBRE ET ENVIRONNEMENT

2.1. Description générale de l'arbre et environnement

L'orme d'Amérique (*Ulmus americana*⁴) en question, avec un boulet encastré à la base du tronc, se situe au coin des rues St-Louis et du Corps-de-Garde dans le Vieux-Québec [voir *figure 1* et *photos 1 et 2* à l'*Annexe I*]. Plus précisément, il est situé directement au sud de l'intersection de ces deux rues, tout juste à côté du trottoir public, le long de la rue du Corps-de-Garde et un peu en retrait de la rue St-Louis.

Cet arbre fait environ 96 cm de diamètre⁵, environ 17 m de hauteur et a une couronne de branches d'environ 6,5 m de rayon en moyenne.

Selon les informations disponibles, cet arbre serait âgé d'environ 100 ans. En comparaison, l'espérance de vie théorique des ormes d'Amérique en milieu forestier serait d'environ 200 ans en moyenne. En milieu urbain, on peut toutefois s'attendre à ce que leur vie soit écourtée en raison des conditions environnementales généralement moins favorables que celles retrouvées en forêt. On peut donc en conclure qu'on se trouve certainement en présence d'un arbre dont l'âge est assez vénérable compte tenu de l'environnement où il se trouve.

◆ Environnement

En regard de l'environnement qui entoure cet orme, nous avons noté que le tronc de celui-ci est accolé au trottoir qui longe la rue du Corps-de-Garde et que la dalle de béton de ce dernier est soulevée et fissurée vis-à-vis du tronc [voir *photo 3* à l'*Annexe I*]. Quant au tronc, il est à une distance de 1,3 m du mur du bâtiment [voir *photos 1 et 2* à l'*Annexe I*].

Du côté faisant face à la rue St-Louis, la base du tronc est à une distance de seulement 25 cm du trottoir qui longe cette rue [voir *photos 1, 2 et 6* à l'*Annexe I*].

Enfin, tout autour de cet arbre, l'ensemble de la superficie est entièrement asphaltée (rues...) et bétonnée (trottoirs...) [voir *figure 1* et *photos 1 à 6* à l'*Annexe I*]. Le pavage asphalté est quant à lui soulevé et craquelé en de nombreux endroits. Les surfaces engazonnées ou en terre battue les plus proches se trouvent à plus de 40 à 60 m de distance, vers le fond de la rue du Corps-de-Garde [voir *figure 1* à l'*Annexe I*].

2.2. Méthodologie générale

En plus d'un examen visuel complet, une panoplie d'outils de diagnostics a été employée pour évaluer la condition structurale de l'orme – marteau de briqueur (24 oz), résistographe et tomographe –, dont certains qualifiables d'instruments de haute technologie (tomographe et résistographe).

⁴ Nom scientifique entre parenthèses.

⁵ Diamètre du tronc mesuré au DHP (diamètre à hauteur de poitrine), soit à environ 1,4 m du sol.

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

La tomographie consiste à obtenir une image graphique en couleur de l'intérieur d'un tronc (ou d'une branche) au moyen de la vitesse de diffusion d'ondes sonores à l'intérieur du tronc (ou d'une branche). La résistographie, pour sa part, consiste à forer un trou dans un tronc ou une branche au moyen d'une très fine mèche (1/16 po. de diamètre) et à mesurer la résistance à la pénétration de la mèche sur un graphique qui est tracé sur une feuille de papier.

Le résistographe utilisé en complément du tomographe permet de confirmer l'interprétation qu'il faut faire des différentes couleurs sur le diagramme du tomographe, le tout afin de faire une analyse plus précise de l'état structural du bois.

L'emploi des divers outils/instruments a été guidé selon les besoins associés à chaque défaut structural à diagnostiquer, le degré de précision souhaité des mesures qualitatives et quantitatives à prendre, ainsi que les contraintes d'utilisation propres à chacun des instruments (ex.: travail de diagnostic en hauteur avec une échelle).

2.3. Condition de santé physiologique

Lors de notre visite, nous avons constaté que cet orme est visiblement en bonne condition de santé physiologique (i.e. état des feuilles et des jeunes branches) [voir *photo 1 et 2* à l'*Annexe 1*].

Toutefois, on a observé assez aisément que des travaux d'élagage de branches ont été effectués au cours des dernières années. À ce propos, la Ville de Québec nous a fait mention qu'il s'agissait de branches mortes principalement. Notamment, une branche tertiaire d'environ 25 cm de diamètre a été élaguée à environ 10 m du sol, sur le côté sud-ouest [voir *photos 2 et 7* à l'*Annexe 1*].

2.4. Condition structurale du tronc

◆ Défauts structuraux principaux

Les principaux défauts structuraux jugés comme potentiellement problématiques et donc qui étaient à vérifier sont localisés au sein du tronc, tant au niveau de sa base qu'en hauteur. Il s'agit en l'occurrence de zones de carie⁶ avec cavités internes qui sont situées au pied de l'arbre (i.e. à la base du tronc) et à des hauteurs comprises entre environ 1 m et 3,5 m du sol [voir *photos 3, 4, 5, 6, 8 et 9* à l'*Annexe 1*].

À la base du tronc, on compte cinq ouvertures situées tout autour de la cavité interne, soit entre deux racines d'ancrage ou encore liées à d'anciennes blessures d'origine mécanique. Ces ouvertures font 25, 10, 40, 30 et 10 cm de largeur [voir *photos 3 à 6* à l'*Annexe 1*]. L'insertion d'une tige d'acier de 120 cm de longueur dans ces ouvertures a permis de constater physiquement le vide intérieur de cette section du tronc ainsi que la prolongation de ce même vide sur une hauteur au moins similaire.

⁶ De façon simplifiée, la carie du bois est le processus en plusieurs étapes par lequel les champignons lignivores dégradent progressivement la lignine et/ou la cellulose du bois et lui enlèvent toute sa résistance structurale et donc mécanique face aux divers agents environnementaux (vent, verglas, gravité terrestre, etc.).

Plus haut, une blessure liée à une mortalité de l'écorce est située du côté sud-ouest (i.e. face au trottoir de la rue du Corps-de-Garde), entre 90 et 260 cm du sol [voir *photo 8* à l'*Annexe 1* + *photo 11e* à l'*Annexe 2*]. Elle fait donc 170 cm de hauteur, sur maximum 15 cm de largeur.

Enfin, une ouverture de cavité, liée à la coupe passée d'une des trois branches principales, est située du côté nord-ouest (à environ 3,5 m du sol) [voir *photos 2 et 9* à l'*Annexe 1*].

D'autre part, si on fait appel aux enseignements de Mattheck et du VTA⁷, nous avons aussi observé une activité un peu plus importante du cambium, associée à la formation d'anneaux de croissance annuels de bois un peu plus épais, à environ 80 à 100 cm au-dessus du niveau du sol, sur certains des côtés du tronc. Si on prend un peu de recul pour le regard, on observe alors que le tronc est légèrement plus « renflé » à ce niveau. Ce type de croissance accrue du cambium est associable à des tensions plus importantes sur la structure, tensions que l'arbre cherche à compenser par la formation de bois de réaction plus dur et épais de manière conséquente. Par contre, aucun indice de fissure horizontale à la surface de l'écorce ni de fissure verticale du bois, associables à des tensions mécaniques plus importantes, n'a été observé visuellement.

◆ Méthodologie des tests

Afin de vérifier l'état d'avancement de la carie dans différentes zones, des tests au tomographe et au résistographe ont été faits à différentes hauteurs sur le tronc, soit :

- au niveau de racinesavec résistographe
- 80 cm de hauteur au-dessus du solavec tomographe et résistographe
- 120 cm de hauteur au-dessus du solavec tomographe et résistographe
- 160 cm de hauteur au-dessus du solavec tomographe et résistographe
- 258 cm de hauteur au-dessus du solavec tomographe
- 340 cm de hauteur au-dessus du solavec tomographe

Le niveau de nos tests au tomographe a été fait aux mêmes hauteurs que ceux réalisés avec le même équipement en 2009 et en 2018 afin d'avoir une base de comparaison pour quantifier de manière approximative la vitesse d'évolution de la carie dans le temps.

◆ Compréhension générale des tests avec le tomographe

Il est à noter que dans le cas des tests au tomographe, le capteur #1 est toujours orienté approximativement du côté sud-ouest du tronc, soit selon l'axe de la rue du Corps-de-Garde, en direction du cul-de-sac de cette dernière. Le capteur #1 étant toujours illustré dans le bas des diagrammes au tomographe, le haut du diagramme correspond alors au côté du tronc faisant face à la rue St-Louis.

Sur le diagramme du tomographe, le bois sain apparaît généralement de couleur brun foncé ou brun clair tandis qu'à l'autre extrémité du gradient de couleurs, le bois entièrement dégradé/pourri (ou même une cavité interne) apparaît avec une couleur bleue. Enfin, les couleurs verte et rose correspondent à du bois en cours de dégradation (couleur verte) à fortement dégradé (couleur rose).

Quant au nombre de capteurs utilisés, il est dicté par différents facteurs que sont :

- le diamètre du tronc

⁷ VTA: *Visual Tree Analysis* (i.e. analyse visuelle des défauts structuraux de l'arbre).

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

- l'illustration de la forme du tronc et de ses diverses variations au niveau de ses creux et de ses crêtes
- l'espacement minimal et maximal requis entre deux capteurs
- la présence d'ouverture de cavités et de fissures entre deux capteurs

◆ Compréhension générale des tests avec le résistographe

Quant au test par résistographie, il est à noter que la partie droite du graphique correspond à la surface du tronc alors que la partie gauche se trouve en direction du cœur (ou centre) de ce dernier. Ce graphique, gradué en centimètres (mesures chiffrées dans le bas de la bande de papier), présente les valeurs obtenues de résistance sur une profondeur maximale de 30 cm.

Point important à noter, alors que le test par tomographie se fait sous le niveau intérieur de l'écorce – c'est-à-dire au niveau de la surface du bois ligneux –, celui par résistographie se fait depuis la surface externe du tronc et de l'écorce. Les premiers centimètres du graphique des tests avec le résistographe correspondent donc au liège de l'écorce qui offre naturellement très peu de résistance à la pénétration de la mèche. Il faut donc ajuster en conséquence la superposition des images des deux tests afin d'avoir un portrait juste de la situation.

Le bois est sain lorsque la courbe est élevée, et très dégradé lorsque la courbe est très basse.

Par contre, la courbe du graphique de résistance à la pénétration de la mèche tend toujours à être un peu plus basse dans les premiers centimètres à la surface du tronc. Ceci s'explique en raison de la friction moindre autour de la mèche causée par le bois près de la surface du tronc; après quelques centimètres de pénétration en profondeur dans le bois par la mèche, la friction autour de cette dernière devient alors plus constante. Toujours en raison de la friction du bois sain autour de la mèche, lorsque cette dernière traverse une cavité après avoir franchi une épaisseur de bois sain, la courbe du graphique reste alors élevée, mais horizontalement droite et linéaire.

Enfin, la présence de petites pointes sur le graphique est généralement indicatrice de bois sain et correspond alors aux anneaux de croissance annuelle ainsi qu'à la variation de résistance entre le bois initial (bois fait en avril-juin) et le bois final (bois fait en août).

◆ Résultats des tests – niveau de 80 cm du sol

Le résultat du test au tomographe à 80 cm du sol est illustré à la *figure 2* [voir *Annexe 2*]. La position des 12 capteurs utilisés à ce niveau est présentée aux *photos 11 à 16* à l'*Annexe 2*.

Globalement, la proportion de bois sain se présente en deux croissants (i.e. couleurs brun clair et brun foncé) totalisant selon ce test seulement 27% de la section transversale du tronc à ce niveau. La cavité intérieure, composée de vide et de bois fortement dégradé – c'est-à-dire sans capacité mécanique réelle – affecte au moins 60% de cette section du tronc (i.e. couleurs bleu et rose respectivement). Et si on ajoute à cette dernière la proportion colorée en vert qui correspond à du bois en cours de dégradation, donc qui est mécaniquement plus faible, alors c'est 73% de cette section du tronc qui est affectée négativement à divers stades par la carie.

Les zones où le bois sain est plus mince correspondent généralement à des endroits où on observe au pied du tronc des ouvertures de cavités [voir *figure 1* et *photos 11a à 11e* à l'*Annexe 2*].

Les graphiques de la plupart des tests faits au résistographe [voir *figures 3a à 3k* à l'*Annexe 2*] à ce même niveau tendent à confirmer ce diagnostic. Par contre les graphiques des tests au résistographe faits entre les capteurs #9 et #10, ainsi qu'au niveau du capteur #10 [voir *figures 3i et 3j* à l'*Annexe 2*], contredisent celle au tomographe.

Selon les deux derniers tests au résistographe cités au paragraphe précédent, l'épaisseur de bois sain serait d'environ 21 cm, comparativement à une indication d'environ 10 cm avec le test au tomographe. La présence de fissures internes entre deux capteurs peut être un exemple de situation qui pourrait potentiellement expliquer cette « contradiction », et de ce fait les limites de diagnostic du tomographe dans certaines situations très particulières.

En fonction, de ce qui précède, la proportion de bois sain pourrait donc être un peu plus élevée que 27%, soit possiblement de 1 à 2% tout au plus.

◆ Résultats des tests – niveau de 120 cm du sol

Le résultat du test au tomographe à 120 cm du sol est illustré à la *figure 4* [voir *Annexe 2*]. Globalement, la proportion de bois sain grimpe à 38%. La cavité est située au centre du tronc et ne traverse plus de part en part ce dernier.

Les graphiques des tests faits au résistographe [voir *figures 5a à 5d* à l'*Annexe 2*] à ce même niveau confirment cette analyse. Par contre, avec le test entre les capteurs #9 et #10, le bois serait encore assez sain sur une certaine épaisseur dans la zone de coloration verte du graphique au tomographe.

En fonction, de ce qui précède, la proposition de bois sain pourrait donc être un peu plus élevée que 38%, soit possiblement de 1 à 3% tout au plus.

◆ Résultats des tests – niveau de 160 cm du sol

Le résultat du test au tomographe à 160 cm du sol est illustré à la *figure 6* [voir *Annexe 2*]. Globalement, la proportion de bois sain grimpe à 48%. La cavité est située au centre du tronc et une zone en cours de dégradation (i.e. couleur verte) remonte jusqu'à la surface entre les capteurs #8 et #9; celle-ci correspond à la zone où il y a perte de l'écorce entre 90 et 260 cm du sol.

Le graphique du test fait au résistographe [voir *figure 7a* à l'*Annexe 2*] à ce même niveau confirme cette analyse.

◆ Résultats des tests – niveau de 258 cm du sol

Le résultat du test au tomographe à 258 cm du sol est illustré à la *figure 8* [voir *Annexe 2*]. Globalement, la proportion de bois sain est de 41%. La cavité est située au centre du tronc et remonte jusqu'à la surface entre les capteurs #8 et #9; celle-ci correspond à la zone où il y a perte de l'écorce entre 90 et 260 cm du sol.

◆ Résultats des tests – niveau de 340 cm du sol

Le résultat du test au tomographe à 340 cm du sol est illustré à la *figure 9* [voir *Annexe 2*]. Globalement, la proportion de bois sain grimpe jusqu'à 59%.

La cavité causée par l'élagage passée d'une des trois branches principales à environ 3,5 m du sol, entre les capteurs #5 et #6, n'est encore qu'assez peu importante.

Par contre, cette précédente zone de carie commence à rejoindre la plus importante zone de carie avec cavité interne qui est causée par la longue blessure avec perte de l'écorce que l'on peut observer visuellement entre 90 et 260 cm du sol. Cette dernière zone de carie se prolonge donc en hauteur dans le tronc, bien au-delà des 260 cm d'élévation au-dessus du sol.

◆ **Résultats des tests – niveau des racines d'ancrage**

Des tests au résistographe ont également été faits au niveau de certaines des racines d'ancrage de cet arbre. En prenant pour référence la position des capteurs pour le test au tomographe à 80 cm au-dessus du sol, deux tests ont été réalisés avec le résistographe, soit entre les capteurs #3 et #4 et entre les capteurs #7 et #8.

Les résultats de ces tests sont illustrés aux *figures 10a et 10b* [voir *Annexe 2*]. Globalement, l'épaisseur de bois sain est de 8 cm dans les deux cas, et avant de rencontrer la cavité du tronc qui se prolonge jusqu'au niveau des racines d'ancrage testées.

2.5. Autres défauts structuraux dans la cime

Sur la branche principale située du côté sud-ouest de l'orme, une cavité se situe un peu sous le niveau de la fourche entre deux branches secondaires codominantes, soit à environ 7 m du sol [voir *photos 2 et 10* à l'*Annexe 1*]. Cette cavité est issue de l'élagage passé d'une troisième branche secondaire codominante qui était située à ce niveau. Selon nos observations visuelles, ainsi qu'en fonction de notre expérience professionnelle, cette cavité affecterait moins de 30% de cette section de la fourche. Le risque de bris est donc jugé comme faible à ce niveau.

Juste au-dessus de cette précédente cavité, soit à environ 7,5 m du sol, une fourche faible est présente entre les deux branches secondaires [voir *photo 10* à l'*Annexe 1*].

3. ANALYSE DE LA CONDITION STRUCTURALE ET DE SÉCURITÉ DU VOISINAGE

3.1. Condition structurale – analyse de premier niveau

Selon les données des tests, on constate que la portion la plus affectée par la carie est définitivement la section inférieure du tronc et le pied (en incluant les racines d’ancrage). Le taux de carie est, à 80 cm du sol, d’environ 71% à 72% (ou bien 28 à 29% de bois sain) selon la combinaison des données des tests au tomographe et au résistographe.

De manière générale, pour un arbre sain, en bonne santé et avec un tronc droit (i.e. vertical), c’est approximativement au niveau de la base du tronc que les tensions mécaniques sur sa structure sont normalement à leur maximum, et ce lorsque soufflent les vents par exemple. Il s’agit donc normalement d’un point stratégique majeur pour l’analyse de la condition structurale d’un arbre.

Cet aspect stratégique est encore plus important dans le cas qui nous concerne ici puisque c’est au niveau de cette même section inférieure du tronc que se situe le taux de carie le plus important de l’orme au boulet.

En plus, contrairement à une cavité qui serait située en plein centre du tronc et qui serait entièrement entourée de bois sain, celle de l’orme au boulet se présente en deux croissants d’épaisseurs variables.

Normalement, un tuyau, même avec une paroi très mince, peut posséder une assez à très grande résistance mécanique du fait de l’épaisseur uniforme de sa paroi et de sa forme parfaitement circulaire. Ce n’est malheureusement plus le cas ici de l’orme au boulet, ce qui amène à croire que sa capacité de résistance structurale face aux vents en est diminuée.

Si on pousse un peu loin, on peut aussi faire appel aux formules d’analyse de *Matheck*, *Wagener* ainsi que de *Smiley et Fraedrich*. Bien que toutes ces formules soient plus ou moins mal adaptées au patron très particulier de carie du tronc de l’orme au boulet, toutes concluraient que cet arbre est dangereux et doit donc être abattu pour des fins de sécurité, faute de pouvoir trouver une solution pour le conserver de manière sécuritaire.

En effet, juste avec un taux de carie atteignant un taux de 70%, et une épaisseur de bois aussi mince que 7 cm sur une bonne partie du pourtour de cette section du tronc de 107 cm de diamètre à ce niveau (i.e. à 80 cm du sol), peu de professionnels en arboriculture, sinon aucun, serait enclin à recommander sans réserve la conservation d’un orme d’Amérique dans cette condition. En conditions normales, par exemple, dans un parc urbain ou sur le terrain d’une résidence, l’abattage pour des fins de sécurité aurait été la recommandation normalement faite, d’autant plus que l’achalandage autour de l’arbre s’avère imposant. Nous-mêmes de la firme *Nadeau Foresterie Urbaine Inc.*, dans un contexte normal, aurions émis une telle recommandation.

Par contre, il s’agit ici de « l’orme au boulet »...

3.2. Condition structurale – analyse avancée de second niveau

Si on pousse plus loin l'analyse, plusieurs autres observations, écartées dans l'analyse de premier niveau, peuvent être amenées et ajouter un éclairage d'intérêt sous différentes perspectives.

◆ Observations visuelles sur le tronc et fibre de bois de l'orme

Tel que mentionné auparavant à la *section 2.4* [voir *page 4*], aucun indice de fissure horizontale ou verticale à la surface de l'écorce n'a été observé. De plus, on observe une croissance un peu plus importante du tronc à peu près au même niveau, et ce en quelques endroits vis-à-vis de certaines racines de contrefort, et ce au point où on peut constater, de manière visuelle, un léger renflement du tronc à ce même niveau.

Ce dernier indice laisse à penser que le point de tension maximal sur la structure est justement à environ 80 à 100 cm au-dessus du niveau du terrain. Normalement, un arbre feuillu réagit structurellement en renforçant, autant que faire se peut et dans les limites de ses capacités, la fibre de bois aux endroits où il existe des tensions plus importantes sur la structure. Ce renforcement peut se faire en épaississant de manière locale, aux endroits où cela est nécessaire, les anneaux de croissance et/ou en renforçant la dureté de la fibre de bois, et ce que ce soit au niveau des zones de tension structurale et/ou de compression structurale. Le but pour l'arbre, si on peut dire, est de tenter de demeurer stable et sécuritaire autant que possible sous les contraintes usuelles auxquelles il est confronté. Ceci explique pourquoi on observe une légère surcroissance du tronc à environ 80 à 100 cm du sol.

Une explication possible de la raison pour laquelle le point de tension n'est pas au niveau 0 du sol serait que les racines d'ancrage ne seraient pas près de la surface de manière plus ou moins horizontale. Elles seraient au contraire plutôt enfoncées à plus ou moins grande profondeur entre 30 et 90° d'angle par rapport au terrain. La littérature consultée à ce sujet indique que l'orme d'Amérique peut justement développer ce type de racines d'ancrage de type « deep laterals »⁸.

Quant au fait qu'il y a actuellement absence de fissures horizontales ou verticales à ce même niveau, ceci pourrait alors être interprété comme une absence de tensions structurales très majeures à ce niveau. Normalement, lorsque de telles tensions plus importantes existent, des fissures plus ou moins claires de l'un et/ou l'autre de ces types sont observables.

D'ailleurs, cet élément précédent pourrait être renforcé, selon l'expérience pratique de Marc Prieur en tant qu'entrepreneur en arboriculture durant plusieurs décennies, par le fait que celui-ci a constaté que les fibres de bois chez l'orme d'Amérique s'entrecroisaient, augmentant ainsi la capacité de résistance mécanique du bois de cette espèce. Toujours selon l'expérience pratique, fendre dans le sens de la longueur une bûche d'orme d'Amérique est beaucoup plus difficile par rapport à plusieurs autres espèces en raison de cette situation.

⁸ « *Ulmus Americana*: Root pattern varies with site, usually shallow to deep laterals. »

Source: *Native Trees, Shrubs, and Vines for Urban and Rural America*, Gary L. Hightshoe, Van Nostrand Reinhold, 1988, pp. 346.

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

Enfin, toujours concernant le bois chez l'orme d'Amérique, ce dernier est jugé comme résistant selon les tables comparatives entre les différentes essences de bois⁹.

◆ Vitesse de développement de la carie

Pour ce qui est de la vitesse de dégradation par la carie, on peut en obtenir une bonne idée en comparant le degré de bois sain et celui du bois dégradé de nos tests au tomographe de 2020 avec ceux réalisés en 2009 et 2018 au niveau de 80 cm au-dessus du sol. Pour les niveaux de 160 cm, 258 cm et 340 cm du sol, la comparaison doit se limiter avec les tests faits en 2018, aucun test n'ayant été fait en 2008 à ces niveaux.

Les images comparatives sont présentées respectivement aux *figures 11 à 14* à l'*Annexe 3*.

Il est à noter que dans le cas du test fait en 2009, les numéros des capteurs du test de tomographie n'étaient pas localisés de la même manière que ceux faits en 2018 et en 2020; l'image doit donc être tournée de manière conséquente. De plus, dans le cas des tests faits en 2018, le capteur #1 est situé du côté nord du tronc (i.e. haut du diagramme), soit plus ou moins vers la rue St-Louis. Quant aux tests faits en 2020, c'est le haut du diagramme qui correspond plus ou moins au côté du tronc faisant face à la rue St-Louis. En d'autres termes, les diagrammes des tests faits en 2018 et en 2020 sont dans la même orientation visuelle malgré que les capteurs ne sont pas numérotés de manière similaire.

De cet exercice, on constate principalement ce qui suit... :

- Niveau de 80 cm du sol [voir *figure 11* à l'*Annexe 3*] :
 - Entre 2009 et 2018 (sur environ 11 ans):
dégradation par la carie assez importante...
 - *bois sain passant de 34% à 28%*
 - *bois pourri à creux passant de 55% à 65%*
 - Entre 2018 et 2020 (sur environ 2 ans):
dégradation par la carie demeurée possiblement assez stable...
 - *bois sain étant de manière respective à des taux de 28% ou 27%*
 - *bois pourri à creux étant de manière respective à des taux de 64% ou 60%*
- Niveau de 160 cm du sol [voir *figure 12* à l'*Annexe 3*] :
 - Entre 2018 et 2020 (sur environ 2 ans):
 - *bois sain étant de manière respective à des taux de 45% ou 48%*
 - *bois pourri à creux étant de manière respective à des taux 37% ou 33%*
- Niveau de 258 cm du sol [voir *figure 13* à l'*Annexe 3*] :
 - Entre 2018 et 2020 (sur environ 2 ans):
dégradation par la carie demeurée possiblement assez stable...
 - *bois sain étant de manière respective à des taux de 41% ou 41%*
 - *bois pourri à creux de manière respective à des taux de 46% ou 48%*

⁹ *Forest products and Wood Science – An Introduction*, John G. Haygreen and Jim L. Bowyer, The Iowa State University Press, 1982, 495 p.

- Niveau de 340 cm du sol [voir *figure 14* à l'*Annexe 3*] :
 - Entre 2018 et 2020 (sur environ 2 ans):
 - *bois sain étant de manière respective à des taux de 39% ou 59%*
 - *bois pourri à creux de manière respective à des taux de 34% ou 29%*

Les variations de pourcentage dans les taux de bois sain et de bois dégradé, entre les tests de 2018 et de 2020, peuvent possiblement s'expliquer par la position des capteurs autour du tronc, qui a sans doute comporté certaines différences entre les deux années, mais aussi par la calibration préalable (faite ou non...) des instruments de mesure.

Toutefois, de manière globale, nous pouvons tout de même déduire que le taux de carie ne semblerait pas avoir évolué rapidement au cours des deux dernières années (i.e. 2018 à 2020), et ce comparativement à la période entre 2008 et 2018, lors de laquelle le taux de dégradation a augmenté de manière significative. Une explication possible pourrait être liée à un intervalle de temps trop court entre deux tests – soit 2 ans – pour pouvoir noter une différence significative, et ce d'autant plus que la variation dans la position des capteurs induit clairement une petite variation dans les résultats.

3.3. Analyse de probabilité de risque pour la sécurité du voisinage

Dans le processus d'analyse de recommandation par notre firme et de décision par la Ville de Québec en ce qui regarde « l'avenir à accorder » à l'orme au boulet, une question à se poser concerne la sécurité du voisinage par rapport à cet arbre. Par sécurité du voisinage, il faut entendre tout autant ceux qui habitent le Vieux-Québec et qui circulent près de cet arbre, que ceux qui habitent tout à côté, ceux qui travaillent dans ce secteur ainsi que les touristes. De plus, il peut s'agir tout autant de gens à pied que circulant dans un véhicule. Enfin, on peut aussi ajouter par extension la sécurité (ou l'intégrité) des bâtiments et des infrastructures environnantes.

La manière d'évaluer ce risque consiste à calculer la probabilité qu'un événement tragique ou grave puisse se produire si l'arbre vient à se casser et tomber au sol. Pour calculer ce degré de risque quantifié, nous avons fait appel à la méthode QTRA.

◆ Origine et compréhension générale de la méthodologie de fonctionnement du QTRA

L'évaluation quantifiée des risques associés aux arbres – ou QTRA pour *Quantified Tree Risk Assessment* :

- est une méthode basée sur les calculs de probabilité, qui quantifie le risque de dommage significatif résultant d'un échec d'un arbre
- procure une grille de travail qui permet, dans les limites de ce qui est raisonnablement praticable (faisable), de quantifier le risque et de le comparer à un seuil raisonnable ou à un seuil accepté
- est dirigée par la cible parce que sans une cible significative, il ne peut exister de risque significatif qu'il y ait un dommage significatif
- est autant concernée par les principes d'une pratique raisonnable que par les chiffres

Cette méthode, qui a été développée en Grande-Bretagne, a établi des seuils de risques en se basant sur diverses études de risques, dont celles associées aux accidents de la route. Deux études avançaient à ce sujet ce qui suit sur l'acceptabilité des risques :

Le rapport de la *British Medical Association* intitulé '*Living With Risk*' concluait en 1987 que: « few people would commit their own resources to reduce an annual risk of death that was already as low as 1/10,000. »

Un document datant de 1996 du *Health and Safety Executive (HSE)* intitulé '*Use of Risk Assessment Within Government Departments*' mentionnait que: « For members of the public who have a risk imposed on them 'in the wider interest' HSE would set this limit at 1/10,000 per annum. ».

Au Québec, à titre comparatif, le taux de décès moyen – entre 2015 et 2019 – imputable aux accidents de la route se situait en moyenne à environ 1 / 24 144 (moyenne de 353 décès par année pour une population totale de 8,523 millions d'habitants¹⁰).

Deux seuils de risques en particulier peuvent être plus détaillés avec la méthode QTRA, soit :

- risque de dommage de 1 / 10 000 :
→ un seuil tolérable ou acceptable pour le public en général, mais le risque doit être ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*, ou aussi faible que raisonnablement praticable)
- risque de dommage de 1 / 1 000 000 :
→ un seuil acceptable pour le public en général (on n'a pas à tenir compte de la notion de ALARP)

En d'autres termes, selon cette méthode, lorsque le niveau de risque est plus élevé que 1 sur 10 000, le risque de mort est intolérable suite à l'échec d'un arbre (entendre ici le bris d'une branche ou la chute complète de l'arbre). Si le risque se situe au-delà de 1 sur 1 000 000, alors le risque est généralement acceptable sans qu'une intervention particulière soit requise. Entre ces deux seuils, toujours selon la méthode QTRA, on peut dire que les bénéfices procurés par la réduction du risque doivent être pesés contre le coût de la réduction du risque et les bénéfices procurés du danger.

Le concept de faisabilité raisonnable (ou raisonnablement praticable) signifie que :

- ce qui est nécessaire et raisonnable dans les circonstances est fait
- les bénéfices procurés du danger potentiel aussi bien que les risques sont considérés
- les ressources sont utilisées à un niveau proportionnel à la projection de la réduction du risque
- le risque est utilisé à un niveau raisonnable, mais il ne serait pas nécessairement éliminé
- les coûts sont équilibrés face aux bénéfices

L'analyse de risque a pour but de connaître la probabilité et la magnitude de dommage (ou d'accident) associé à une situation potentiellement dangereuse. Elle cherche ainsi à déterminer si le risque est disproportionné par rapport au bénéfice procuré. Cela permet de déterminer si le

¹⁰ Données de la SAAQ (*Société de l'Assurance automobile du Québec*).

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

danger peut être géré afin d'optimiser le bénéfice. Enfin, cela permet de déterminer si les mesures de contrôle de risque utilisées sont appropriées, ou doit-on faire plus ou moins pour limiter les risques.

L'évaluation du risque se détermine de façon primaire de la manière suivante :

$$\text{Risque} = \text{Conséquence} \times \text{Probabilité}$$

Les composantes dont on tient compte pour la conséquence et la probabilité sont quant à elles les suivantes :

- conséquence :le potentiel d'impact et la cible
- probabilité :la cible et la probabilité d'échec¹¹

À partir des composantes primaires exposées ci-dessus, la risque de dommage significatif se calcule donc avec l'équation suivante :

$$\text{Risque de dommage significatif} = \text{Fréquence d'occupation ou Valeur de la cible} \times \text{Potentiel d'impact} \times \text{Probabilité d'échec}$$

Il est à noter que le risque de dommage (ou d'accident) suite à l'échec d'un arbre (entendre ici le bris d'une branche ou de l'arbre en entier) est généralement moins élevé lorsque la cible présente une fréquence d'occupation faible.

Dans la méthode QTRA, la vie humaine constitue la valeur de base. Dans cette méthode, la perte d'une vie est exprimée comme étant une conséquence de 1/1.

Lorsque le temps d'occupation d'un lieu n'est pas constant, une pondération en fonction de ce temps d'occupation doit être faite. De même, si plusieurs personnes en même temps occupent un même lieu, une pondération conséquente doit aussi être faite.

Également, une pondération doit aussi être faite en fonction de la grosseur de la branche ou du tronc qui se brise dans l'analyse du potentiel d'impact.

◆ Estimation du degré de risque d'accident appliqué au cas de l'orme au boulet

Au moyen de la méthode QTRA, nous avons calculé une estimation approximative du degré de risque d'accident associé au tronc de l'orme au boulet qui pourrait se casser et causer un accident tragique ou grave en tombant lors de conditions normalement connues de vents forts à Québec chaque année.

Pour ce faire, nous nous sommes entre autres basés sur les données de comptage faites à l'intersection des rues St-Louis et d'Auteuil, soit à deux coins de rue de distance. Ces données¹², qui nous ont été communiquées par la Ville de Québec dans le cadre de cette expertise, indiquent ce qui suit :

- total de 3828 véhicules franchissant l'intersection
- total de 658 piétons franchissant l'intersection
- comptage sur une durée de 3 heures le matin en période de pointe et sur une durée de 3 heures en après-midi

¹¹ Par probabilité d'échec, on entend ici le risque de bris d'un arbre ou d'une partie de ce dernier.

¹² Données de circulation du 9 novembre 2015.

Malgré leur utilité, des nuances importantes doivent être apportées à ces données. Tout d'abord, il s'agit de nombres pour une durée totale de 6 heures en périodes de pointes alors qu'une journée s'étire sur 24 heures. D'autre part, le comptage a été fait en période qui correspond très certainement à un achalandage touristique moindre dans le Vieux-Québec, soit la mi-novembre, par rapport par exemple au milieu de l'été... Ces données doivent alors sans doute correspondre beaucoup plus à la population qui habite ce secteur et celle active qui y travaille de jour, et dans une plus faible mesure aux touristes en cette période plus froide de l'année.

D'autre part, selon une petite recherche rapide faite, on indique que le Vieux-Québec serait fréquenté chaque année par environ 2 000 000 de touristes.

À partir de toutes ces informations, nous avons estimé et émis les hypothèses suivantes de fréquentation de l'intersection où se trouve l'orme au boulet¹³ :

- touristes :
 - 20% des touristes (ou 400 000 visiteurs) vont passer devant l'orme au boulet
 - durée moyenne de passage et d'arrêt à l'endroit où se trouve l'orme au boulet pour le regarder, prendre des photos et/ou écouter les commentaires d'un guide touristique : 20 secondes
- véhicules (ex.: autos, calèches, autobus, camions) :
 - 7 650 véhicules par jour en période touristique creuse, soit 6 mois par an
 - 10 000 véhicules par jour en période touristique achalandée, soit sur 6 mois par an
- piétons (habitants du secteur et travailleurs) :
 - 2 000 piétons par jour en tout temps de l'année

D'autre part, nous avons pris en compte que, selon les études statistiques faites pour le QTRA, la durée moyenne d'occupation sous un arbre de taille moyenne par un piéton en marche est de 5 secondes. Pour un véhicule, cette durée moyenne est d'un peu moins de 2 secondes.

Pour ce qui est du diamètre du tronc de l'orme au boulet qui pourrait se casser, il s'agit d'une composante fixe et réelle, soit 96 cm. À cette grosseur, la masse de toute la partie de l'arbre qui pourrait se casser et tomber au sol est évaluée par la méthode QTRA à plus de 6,7 tonnes métriques. Selon les recherches citées par la méthode QTRA, à 60 cm de diamètre, un tronc qui tombe va inmanquablement causer la mort d'une personne en raison de sa masse moyenne qui est de 2,6 tonnes. Donc, même si le tronc de l'arbre est alors plus gros et plus pesant, cela ne change plus rien pour la survie d'un passant. Le seul moment où cela pourrait changer quelque chose est dans le cas d'une personne se trouvant à l'intérieur d'un bâtiment et du degré de résistance d'encaissement de ce dernier face à un impact par le tronc lors de sa chute.

Enfin, nous nous sommes basés également sur le paramètre suivant que nous avons estimé à partir de nos propres connaissances et de notre expérience professionnelle pour les arbres dangereux :

- risque de bris (ou d'échec) associé à un tronc d'orme d'Amérique

¹³ NOTE: Ces hypothèses proposées par NFU n'ont pas fait l'objet d'une validation préalable par les autorités compétentes de la Ville de Québec.

d'environ 96 cm de diamètre sur un horizon de 12 mois (1 an), avec un taux de 70% de carie, et sous des conditions climatiques dites « normales »¹⁴ :

- scénario plus « conservateur » :1 chance sur 100
- scénario plus « libéral » :1 chance sur 1 500

À partir des éléments décrits aux paragraphes ci-haut, nous avons effectué les calculs d'estimation de probabilités de risques selon deux scénarios, un plus conservateur (i.e. moins risqué) et un plus libéral (i.e. plus risqué) [voir *Annexe 4*]. Les estimations obtenues de risques sont les suivantes :

- estimation plus « conservatrice » (i.e. plus risquée...) :
 - hypothèse utilisée: 1 chance sur 100 qu'il y ait risque de bris de l'orme au boulet
 - risque estimé : **1 chance sur 35**
- estimation plus « libérale » (i.e. moins risquée...) :
 - hypothèse utilisée: 1 chance sur 1 000 qu'il y ait risque de bris de l'orme au boulet
 - risque estimé : **1 chance sur 526**

Il est à noter qu'avec des données plus précises, particulièrement par rapport au nombre de touristes, d'habitants et de travailleurs, et aussi de leurs habitudes de fréquentation, il serait possible de raffiner encore plus les calculs de probabilité pour que ces derniers puissent se rapprocher encore plus du reflet réel de la réalité.

♦ Discussion sur le degré estimé de risque d'accident grave ou tragique appliqué au cas de l'orme au boulet

Si nos hypothèses sont exactes, les deux précédentes valeurs calculées (1/35 et 1/526) se situent au-dessus d'un risque de 1/10 000 – qui correspond normalement selon la méthode QTRA à un **seuil intolérable pour la sécurité du public** en général.

Selon que l'on retienne une hypothèse de bris de l'orme au boulet plus ou moins risquée, on a respectivement 690 fois plus ou bien 46 fois plus de chance d'accident tragique lors de la chute de l'orme au boulet comparativement au risque de décès sur une route au Québec (en moyenne au cours des cinq dernières années).

Selon ce calcul, on ne peut qu'en conclure qu'une action s'impose nécessairement à très court terme en regard de la sécurité du public. En d'autres termes, il s'agit ni plus ni moins de l'abattage de cet arbre pour des fins de sécurité à très court terme.

Par contre, si nos hypothèses s'avéraient inexactes suite à une analyse plus fine des données de fréquentation du secteur par la Ville de Québec, alors un recalcul des risques pourrait facilement être refait pour obtenir une expression du degré de risque qui soit nettement plus conforme à la réalité.

¹⁴ Par opposition aux situations de type « Act of God » en langage d'assurances, soit un événement climatique exceptionnel et imprévisible.

Par conditions dites « normales », on peut notamment inclure les événements occasionnels, mais qui surviennent annuellement, tels des orages forts avec des bourrasques de vents de 80 à 90 km/h par exemple.

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

3.4. Système de sécurisation de l'arbre

Suite à cette conclusion « tragique » à plus d'un point de vue avec l'analyse de risques pour la sécurité du public, nous nous sommes penchés, à la demande de la Ville de Québec, sur la conception d'un système pour permettre de conserver l'orme au boulet dans des conditions sécuritaires, ou à tout le moins faire en sorte de contrôler suffisamment les risques de bris de ce dernier et donc d'événement tragique.

Suite à une réflexion sérieuse des professionnels de notre bureau de consultants, nous avons conçu un système qui pourrait potentiellement s'avérer efficace.

Le mot « potentiel » s'avère ici très important à souligner car, puisque cet arbre est situé dans le secteur historique, patrimonial et touristique du Vieux-Québec, d'importants enjeux vont se faire jour, voire se heurter face au système imaginé par *NFU* et que nous décrirons plus loin. Nous parlerons donc ici clairement d'une ébauche de solution à analyser de manière plus approfondie et à valider par la suite.

Cette ébauche devra donc nécessairement faire l'objet d'une importante analyse concrète de faisabilité par des professionnels de divers domaines (dont certains à compétences spécialisées et/ou à champs de pratiques professionnelles réservées). Il devra aussi être l'objet d'une acceptabilité par les autorités de la Ville de Québec et probablement d'autres instances gouvernementales. On peut penser ici, sans s'y limiter, aux professionnels et autorités de divers domaines dont :

- ingénieurs en structure
- ingénieurs civils
- ingénieurs forestiers
- architectes
- archéologues
- professionnels du patrimoine
- Ville de Québec
- Gouvernements du Canada (ex.: Patrimoine Canada, Parcs Canada)
- Gouvernement du Québec (ex.: Ministère de la Culture et des Communications)
- etc.

Il est à noter que la firme *NFU* a, à plus d'une reprise, procédé à des expertises d'arbres à très haute valeur patrimoniale, notamment pour *Parcs Canada*, l'*Université McGill* et le *Jardin botanique de la Ville de Montréal*. Lors de certaines de ces expertises, nous avons eu à développer des systèmes très particuliers de soutien de structure pour des arbres qui autrement auraient dû être abattus en raison de leur très haut degré de risque pour la sécurité du public. On peut penser ici entre autres au chêne rouge du Manoir Papineau, à un groupe de trois ginkgos le long de l'av. McTavish à l'Université McGill ou bien encore à un peuplier deltoïde au Canal de Chambly.

◆ **Description du système de support proposé**

Le système que nous soumettons à l'analyse par la Ville de Québec consiste à installer quatre gros poteaux de retenue disposés en croix et à une certaine distance de l'orme au boulet, puis à rattacher ce dernier aux poteaux au moyen d'un système particulier de haubans [voir *figures 15 et 16* à l'*Annexe 5*]. Le système pourrait potentiellement se limiter à trois poteaux

[voir *figure 17* à l'*Annexe 5*], mais nous croyons malgré tout qu'il serait préférable d'en installer quatre.

Le système proposé se détaille dans ses aspects techniques comme suit :

- poteaux :
 - Ø 25 cm en acier
 - épaisseur de l'acier ~ 6 mm
 - ancrage des poteaux dans le roc
 - localisation en bordure de la voie publique (à la limite entre le trottoir et la rue), soit dans la rue ou dans le trottoir...
- haubans flexibles :
 - type *Cobra/Boa* entre l'arbre et chacun des poteaux, doublé en parallèle d'un hauban en acier galvanisé ou inoxydable
 - haubans de type *Cobra/Boa* : - 8 tonnes
 - installation avec amortisseur
 - remplacement des haubans aux 3 à 5 ans (délai de remplacement à valider...)
 - haubans en acier ou inox : - 3/8 po.
 - loupe (ou mou...) dans le hauban pour permettre un mouvement maximal de 30 cm de l'arbre dans toutes les directions
- hauteur d'installation des haubans flexibles :
 - entre 5,5 et 6,5 du sol
- nettoyage du bois carié, entièrement dégradé, dans la cavité interne du tronc (i.e. enlever le « mou » dans le tronc...) :
 - au moyen d'un gros jet d'air à haute pression et à haut débit
 - évacuation des débris de bois pourri par le bas du tronc via les ouvertures de la cavité au moyen d'un aspirateur
- remplissage de la cavité dans le tronc au moyen de béton
 - insertion d'un sac en polyéthylène à l'intérieur du tronc et remplissage du sac par du béton

Avec un tel système, le mouvement latéral du tronc sera limité si l'orme au boulet « voulait » se casser. Il lui serait alors très difficile sinon impossible de pouvoir tomber et entraîner dans sa chute le bris de l'un ou plusieurs des poteaux en acier. En d'autres termes, il resterait debout dans les airs, mais incliné, sans menacer la sécurité du public.

En ce qui concerne l'intérêt de doubler le système de haubans de type *Cobra/Boa* avec des haubans en acier, le but est ici de s'assurer que les haubans *Cobra/boa* ne défont pas en raison d'une dégradation avec le temps de leurs fibres.

Pour ce qui est du nettoyage interne de la cavité, la méthode proposée consiste à évacuer tout le « mou » se trouvant à l'intérieur de la section inférieure du tronc, et ce sans briser les barrières de compartimentage du bois.

Cette opération précédente permettra par la suite de remplir l'intérieur du tronc avec du béton. Le but est ici d'éviter qu'il y ait un risque accru de déformation du tronc (par « flambage » de la fibre de bois) et donc de bris. Le tronc sera de ce fait plus solidaire avec ses différentes portions de bois sain. Pour ce qui est du sac en polyéthylène (ou autre matière à déterminer) à insérer dans le tronc pour ensuite l'emplier de béton, le but est ici d'éviter une contamination du bois par les agents chimiques contenus dans le béton, et donc d'accroître inutilement le degré de

dégradation du bois. Bien que le comblement de cavités soit une ancienne méthode qui ne soit plus recommandée en arboriculture moderne, il se trouve qu'au contraire elle est appropriée dans ce cas très particulier.

Enfin, l'installation des haubans flexibles est à une hauteur suffisante (i.e. entre 5,5 et 6,5 m) pour permettre de continuer à assurer la libre circulation des véhicules sur les rues St-Louis et du Corps-de-Garde.

Une première analyse sommaire nous amène à conclure de manière préliminaire que cette avenue pourrait, d'un point de vue strictement technique, être viable. Par contre, il va non seulement rester à en faire valider la faisabilité technique dans ses détails par les ingénieurs notamment, mais aussi son acceptabilité par rapport à toute une foule d'autres facteurs de contraintes diversifiés dans le contexte particulier où l'orme au boulet se trouve.

Parmi les facteurs de contraintes possibles ou probables face à l'installation potentielle du système proposé, on peut rapidement mentionner les suivants :

- étroitesse relative à la circulation sur les rues St-Louis et du Corps-de-Garde
- étroitesse du trottoir public le long de la rue St-Louis
- enjeux de sécurité liés à l'important débit de circulation en piétons et touristes sur le trottoir public versus la voie carrossable empruntée par les véhicules de tous types
- déneigement de la rue et du trottoir public
- intégration architecturale/patrimoniale du système de support au contexte historique du Vieux-Québec
- etc.

Enfin, aucune évaluation approfondie du système de support proposé n'a été faite à ce stade-ci. Mentionnons toutefois qu'en fonction de notre expérience passée, il ne serait pas étonnant que les coûts de construction avoisinent facilement les 50 000 \$ à 100 000 \$, sinon plus.

4. TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET D'AMÉNAGEMENT PROJÉTÉS ET CONSERVATION DE L'ORME AU BOULET

4.1. Survol des travaux projetés

En résumé, des travaux d'aménagement d'un nouvel espace vert, le parc du Corps-de-Garde sont prévus à l'extrémité de la rue du même nom [voir *plan 1* à l'*Annexe 6*]. Par la même occasion, des travaux de réfection du réseau d'aqueduc et d'égout sous la rue du Corps-de-Garde sont aussi planifiés [voir *plans 1 et 2* à l'*Annexe 6*].

4.2. Système racinaire

◆ Généralités sur le système racinaire des arbres

De manière générale, sous des conditions dites « normales », il faut savoir que 90% du système racinaire d'un arbre se retrouve dans les 30 à 45 premiers centimètres de sol. De plus, son étendue (ou développement latéral...) correspond à un rayon de 1 à 2,3 fois la hauteur totale de l'arbre. Également, les racines servant à l'ancrage d'un arbre mature (i.e. d'environ 30 cm et plus de diamètre de tronc) se trouvent dans un rayon de 2 à 3 m autour du tronc. Enfin, ce qui précède est généralement valable pour toutes les espèces d'arbres poussant sous nos latitudes.

D'autre part, toujours concernant les racines d'ancrage, les plus puissantes d'entre elles chez les espèces d'arbres feuillus se retrouvent généralement du côté où les tensions mécaniques se font, soit du côté ouest du tronc car elles font alors face aux vents dominants. Les secondes racines d'ancrage en termes d'importance sont quant à elles situées du côté des compressions mécaniques, soit du côté est du tronc. Enfin, les troisièmes par ordre d'importance sont celles situées sur les côtés nord et sud du tronc. Toutefois, il peut arriver que des conditions locales de sol (ex.: type de sol peu propice à un enracinement...) et/ou la présence d'infrastructures au sol (ex.: trottoir public à proximité) ou souterraines vont faire en sorte qu'un arbre ne va s'appuyer par exemple que sur ses racines en compression et très peu sur ses racines en tension.

◆ Cas particulier de l'orme au boulet

L'environnement très particulier dans lequel se retrouve l'orme au boulet fait en sorte que le développement du système racinaire s'avère dans ce cas-ci beaucoup plus difficile à prédire actuellement. En effet, cet orme est entièrement entouré d'asphalte, de béton et de murs de fondations de bâtiments anciens. Les espaces en terre battue ou engazonnés les plus proches se trouvent à environ 40 à 60 m de distance à vol d'oiseau [voir *figure 1* à l'*Annexe 1*].

Comme cet arbre a malgré tout des besoins obligatoires en eau et en éléments minéraux, il ne peut être parvenu à les combler qu'en ayant su profiter de toutes les petites et grandes opportunités que les conditions du terrain ont pu lui permettre de « découvrir » et d'exploiter au maximum de leurs disponibilités.

Toutefois, malgré cette difficulté à prédire comment le système racinaire a pu se développer, on peut malgré tout échafauder un certain nombre d'hypothèses plausibles ou probables par

rapport au type de développement que l'on pourrait retrouver. Ces hypothèses sont notamment basées sur notre propre expérience pratique que nous avons acquise dans le cadre de travaux de construction en conditions de centre-ville, travaux au cours desquels nous étions en présence d'arbres adultes (dont des ormes de Sibérie) poussant dans de petits carrés en trottoirs et qui avait pu survivre depuis plusieurs décennies dans un environnement entièrement minéralisé tout autour d'eux. Les principales hypothèses sur le développement du système racinaire se résument comme suit :

- développement du système racinaire juste sous le niveau inférieur de la fondation granulaire des trottoirs et/ou des rues
- développement de racines parallèlement à la bordure du trottoir et/ou le long du mur de fondation d'un bâtiment, là où il y a percolation d'eau dans le sol
- développement de racines au-travers de la fondation granulaire, là où des fissures dans le pavage asphalté sont présentes, permettant ainsi une percolation d'eau dans le sol
- développement majeur de racines autour d'une fuite provenant d'un tuyau d'égout ou d'aqueduc ancien qui est disjoint entre deux sections ;
le développement peut aussi se produire à l'intérieur d'un tuyau d'égout
- développement sur de plus grandes distances du système racinaire, i.e. au-delà de la « norme usuelle » équivalente à 2,3 fois la hauteur totale de l'arbre (39 m de distance dans le cas de l'orme au boulet qui fait 17 m de hauteur totale)
- dépendance de l'orme envers un nombre restreint de racines, mais qui sont en contrepartie très grosses et/ou capitales à sa survie

4.3. Planification des travaux adaptée à l'orme

Bien que ce projet n'en est qu'au début de sa conception, on peut déjà avancer un certain nombre d'éléments d'analyse et de recommandations pour guider sa planification.

◆ Puits d'exploration et examen de l'intérieur des conduits d'égout existants

Dans ce contexte exceptionnel, et étant donné que l'orme au boulet est d'une très grande valeur, la disponibilité d'informations concrètes sur le développement probable du système racinaire va s'avérer capitale si on souhaite conserver cet arbre dans le cadre des travaux à venir de construction. Nous estimons qu'aucune planification sérieuse et efficace des travaux de construction et aménagements à venir, ainsi que des méthodes de travail à développer en conséquence, ne peut être faite sans qu'un exercice d'acquisition concrète de connaissances soit entrepris à très court terme.

Par expérience professionnelle avec ce type de projet d'envergure, sans l'acquisition de cette connaissance, la conservation de l'orme au boulet s'avérera sans aucun doute illusoire dans les faits lorsque les travaux de construction seront exécutés.

Pour ce faire, deux à quatre puits d'exploration doivent être excavés à des endroits jugés comme stratégiques par rapport aux travaux anticipés, et ce dans la chaussée de la rue du Corps-de-Garde. Ces puits seraient idéalement d'une profondeur d'environ 0,9 à 1,2 m, et à des distances comprises entre 10 et 30 m du tronc de l'orme au boulet. L'excavation de ces puits devra se faire obligatoirement en présence d'un professionnel en foresterie urbaine afin de

pouvoir diriger l'excavation sans causer des dommages à des racines pouvant s'y trouver et aussi pour recueillir toutes les informations pertinentes à la compréhension du développement des racines qui s'est fait. Enfin, cette excavation devra se faire avec un jet d'air, plutôt que de manière directe et classique avec une excavatrice munie d'un godet, afin d'éviter tout dommage non souhaité aux racines existantes.

D'autre part, afin de pouvoir tenter de déterminer au mieux si l'orme au boulet dépend d'une fuite d'un tuyau d'égout pour son alimentation en eau, il est aussi fortement recommandé d'effectuer une inspection par caméra de l'intérieur du tuyau d'égout qui passe sous la rue du Corps-de-Garde.

Dès l'étape de la conception du projet du parc du Corps-de-Garde et de ses aménagements connexes, la cueillette de ces informations critiques va permettre de tenter d'évaluer, au meilleur qu'il est possible de le faire, les conditions de vie de l'orme au boulet et pouvoir ainsi développer la meilleure des stratégies possibles pour assurer le succès de sa préservation.

◆ Réfection des conduits d'égout et d'aqueduc, et du pavage de rue

Tel que mentionné auparavant, les connaissances et la compréhension à propos du développement réel du système racinaire de l'orme au boulet, sous la rue du Corps-de-Garde, sont encore quasi inexistantes à ce stade-ci.

Néanmoins, on peut malgré tout déjà avancer qu'il sera sans doute impossible de pouvoir conserver l'orme au boulet si une excavation en tranchée ouverte est faite à moins de 10 à 15 m du tronc de cet arbre. À moins qu'il y ait absence de racines dans la zone à excaver, ce type d'excavation devra donc être exclu. En d'autres termes, ou bien ce tronçon des conduits n'est pas remplacé, ou bien les travaux sont réalisés par forage horizontal ou une technique similaire, ou bien les travaux sont réalisés via une réhabilitation par l'intérieur des conduits existants.

Quant au remplacement du pavage asphalté sur ce même tronçon de la rue – soit à 10 à 15 m de rayon du tronc de l'arbre –, il devra très probablement se limiter à la seule surface de roulement en asphalté, et ce sans jamais excaver dans la fondation sous-jacente de la chaussée. Ce scénario sera vrai et applicable dans le cas où l'analyse des conditions existantes permettrait de conclure que des racines d'importance se sont développées à travers la fondation granulaire existante. Au contraire, si les racines se sont développées en dessous de la fondation granulaire de la chaussée, alors une réfection de la fondation granulaire pourra être envisagée.

Enfin, à la lumière des informations qui seront recueillies éventuellement sur le développement du système racinaire de l'orme au boulet, les distances énoncées ci-haut pour la protection de l'orme au boulet pourraient potentiellement devoir être augmentées de manière appréciable.

◆ Implication professionnelle en foresterie urbaine

La conservation avec succès de l'orme au boulet ne pourra se conclure avec succès que s'il y a implication pleine et entière d'une ressource professionnelle en foresterie urbaine à toutes les étapes de conception du projet, de préparation des plans et devis, et d'exécution des travaux.

Bien planifiés et exécutés, il est tout à fait plausible de croire au succès de l'entreprise de conserver l'orme au boulet pour plusieurs années encore. Mal organisé, ce sera probablement l'échec assuré.

5. CONCLUSION

L'analyse a permis de constater que l'orme au boulet se qualifie clairement d'arbre dangereux pour la sécurité du voisinage, ou sinon en voie de l'être en raison de la condition structurale de son tronc, qui est très affectée par la carie (i.e. pourriture du bois). Cette menace est d'autant plus grande qu'il y a une forte affluence de gens, de véhicules et de touristes autour de ce dernier. Le niveau de risque d'accident tragique, selon l'hypothèse retenue, se situe entre 1 chance sur 35 (hypothèse plus conservatrice) et 1 chance sur 526 (hypothèse plus libérale). Le conserver sans intervention ne peut nullement être recommandé dans l'état actuel des choses. Dans des conditions dites « normales », l'abattage serait la seule avenue envisageable à très court terme.

Par contre, il est potentiellement envisageable de pouvoir le conserver pour le plus grand bénéfice de la Ville de Québec si une structure efficace de soutien est érigée. Comme l'orme au boulet est situé dans le secteur historique et patrimonial du Vieux-Québec, avec toute une foule de contraintes très particulières, une validation de la faisabilité réelle devra obligatoirement être faite pour s'assurer que cette solution est acceptable et que les décideurs publics sont prêts à y consacrer les investissements financiers requis.

Si l'option de conserver l'orme au boulet est retenue à l'étape précédente et qu'une structure de soutien adéquate est installée, le prochain défi majeur qui se dresse devient alors sa conservation dans la cadre des travaux futurs du parc du Corps-de-Garde.

Comme l'orme au boulet vit dans un environnement complexe et plutôt extrême, les travaux projetés peuvent avoir un impact majeur, très probablement funeste sur la survie de l'arbre. Une planification rigoureuse des différents travaux doit être faite, et ce avec l'implication d'un professionnel en foresterie urbaine. **En effet, chaque intervention mal planifiée ou exécutée va avoir très probablement un droit de veto réel sur la vie ou la mort de cet arbre.** Il s'agit donc d'une situation qui ne peut être prise à la légère, surtout si des investissements majeurs sont faits pour assurer sa conservation dans des conditions sécuritaires.

Expertise et analyse par
préparation du rapport par :

Luc Nadeau, ing.f.
Arboriculteur certifié ISA
Directeur de projets

Roxanne Maheu, ing.f.
Arboricultrice certifiée ISA
Chargée de projets

Marc Prieur, B. ing., arb.
Arboriculteur certifié ISA
Chargé de projets – gestion des chantiers

Rédaction du rapport
et signature par :

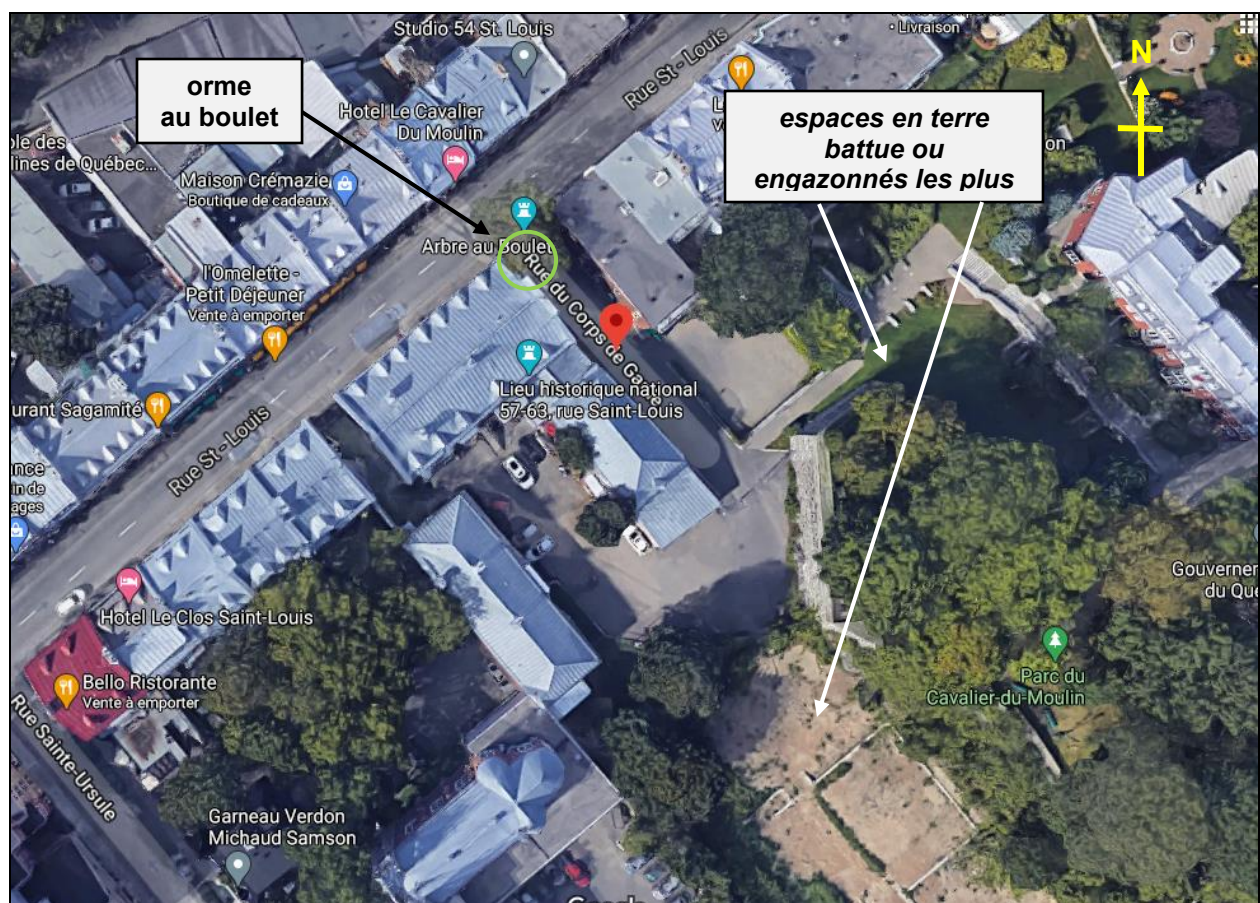


Luc Nadeau, ing.f.
Arboriculteur certifié ISA
Directeur de projets

p.j.

ANNEXE 1
*Localisation et photos
de l'orme au boulet*

Figure 1 : Localisation de l'orme au boulet et vue aérienne de son environnement



source de l'image aérienne : *Google Earth*
 annotations sur l'image : *NFU*

*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
 Expertise de la condition structurale de l'arbre
 et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*

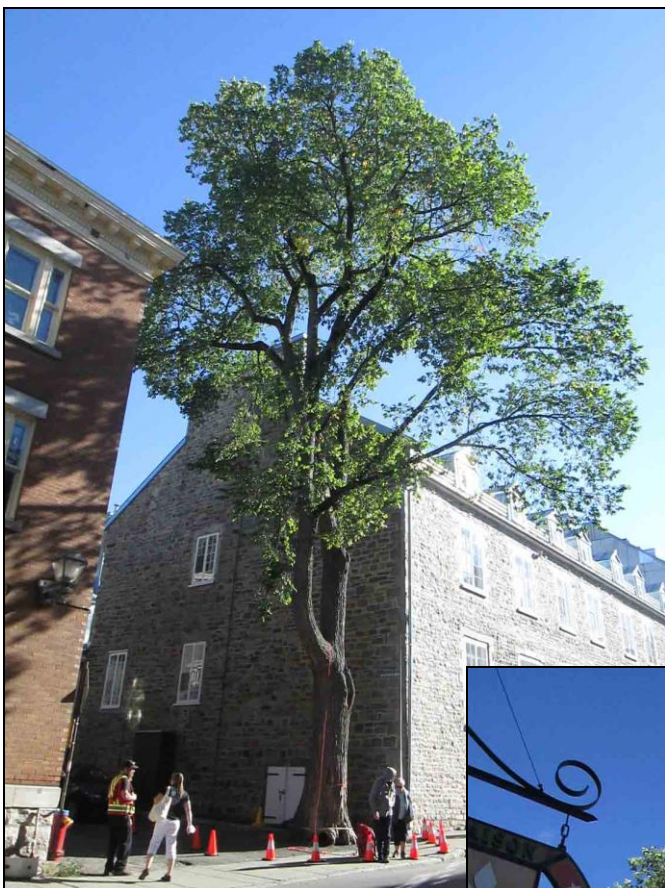


Photo 1 :
Vue générale de l'orme au boulet

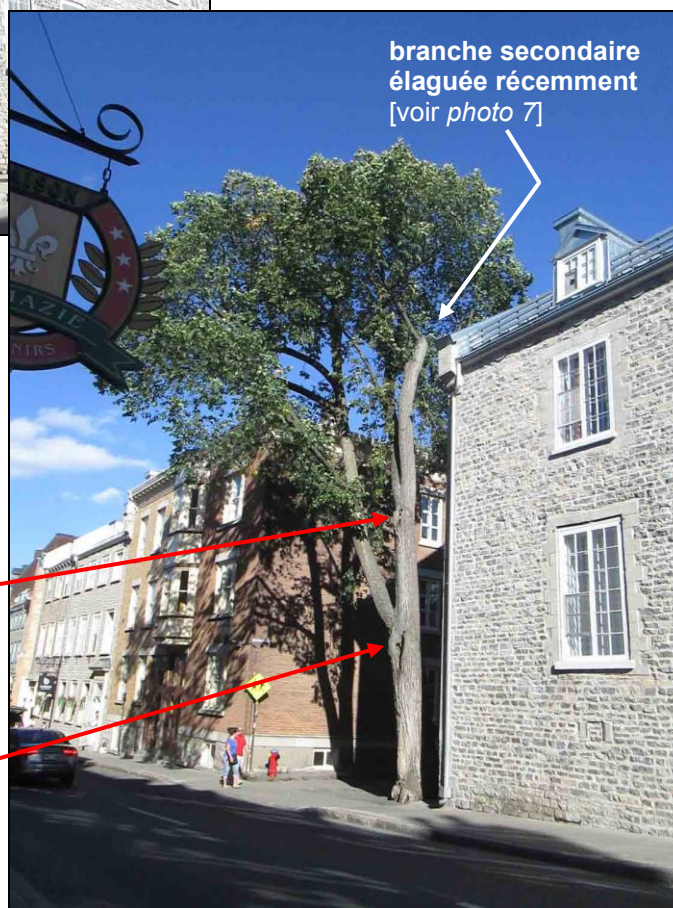


Photo 2 :
Vue générale de l'orme au boulet

**cavité suite à l'élagage
d'une branche secondaire
par le passé**
[voir photo 10]

**cavité suite à l'élagage
d'une branche principale
par le passé**
[voir photo 9]

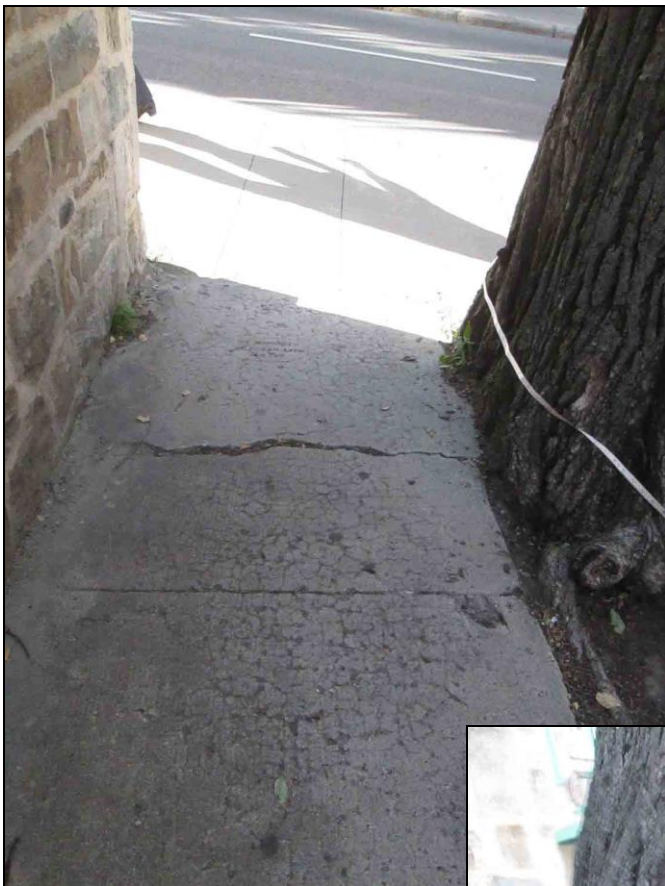


Photo 3 :
Tronc de l'orme collé au trottoir de la rue
du Corps-de-Garde et soulèvement de la
dalle de béton

Photo 4 :
Base du tronc et cavités ouvertes



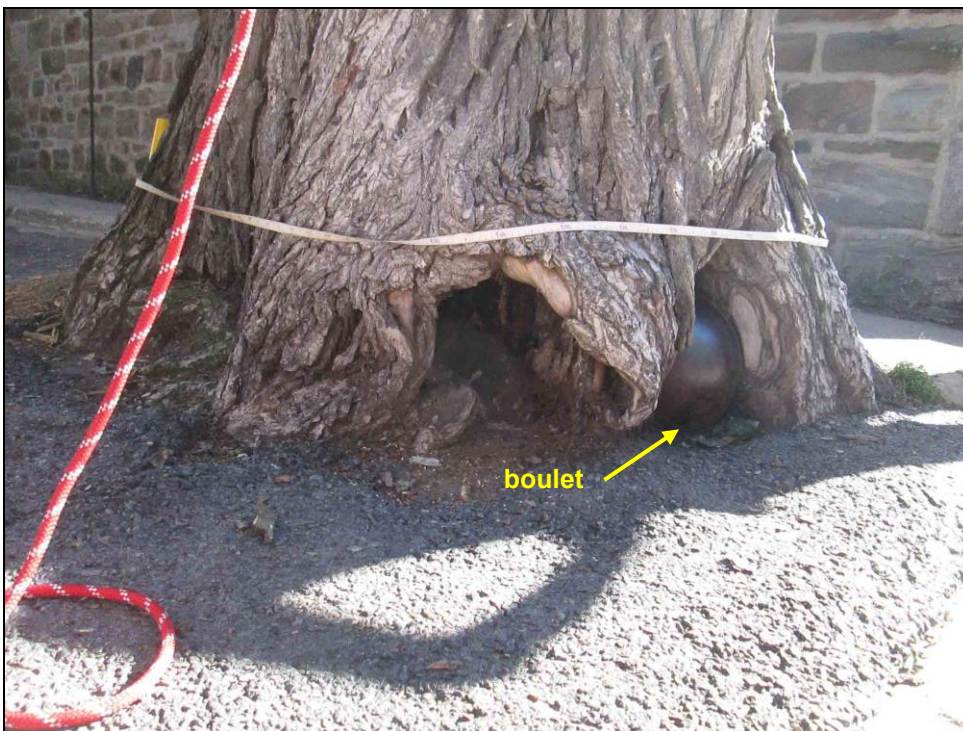


Photo 5 : Base du tronc et cavités ouvertes



**Photo 6 : Base du tronc et cavités ouvertes ;
parterre asphalté et bétonné autour du tronc**

*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
Expertise de la condition structurale de l'arbre
et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*



Photo 7 :
Branche tertiaire élaguée à environ 10 m du sol

Photo 8 :
Blessure sur le tronc entre 90 et 260 cm du sol, et 15 cm de largeur





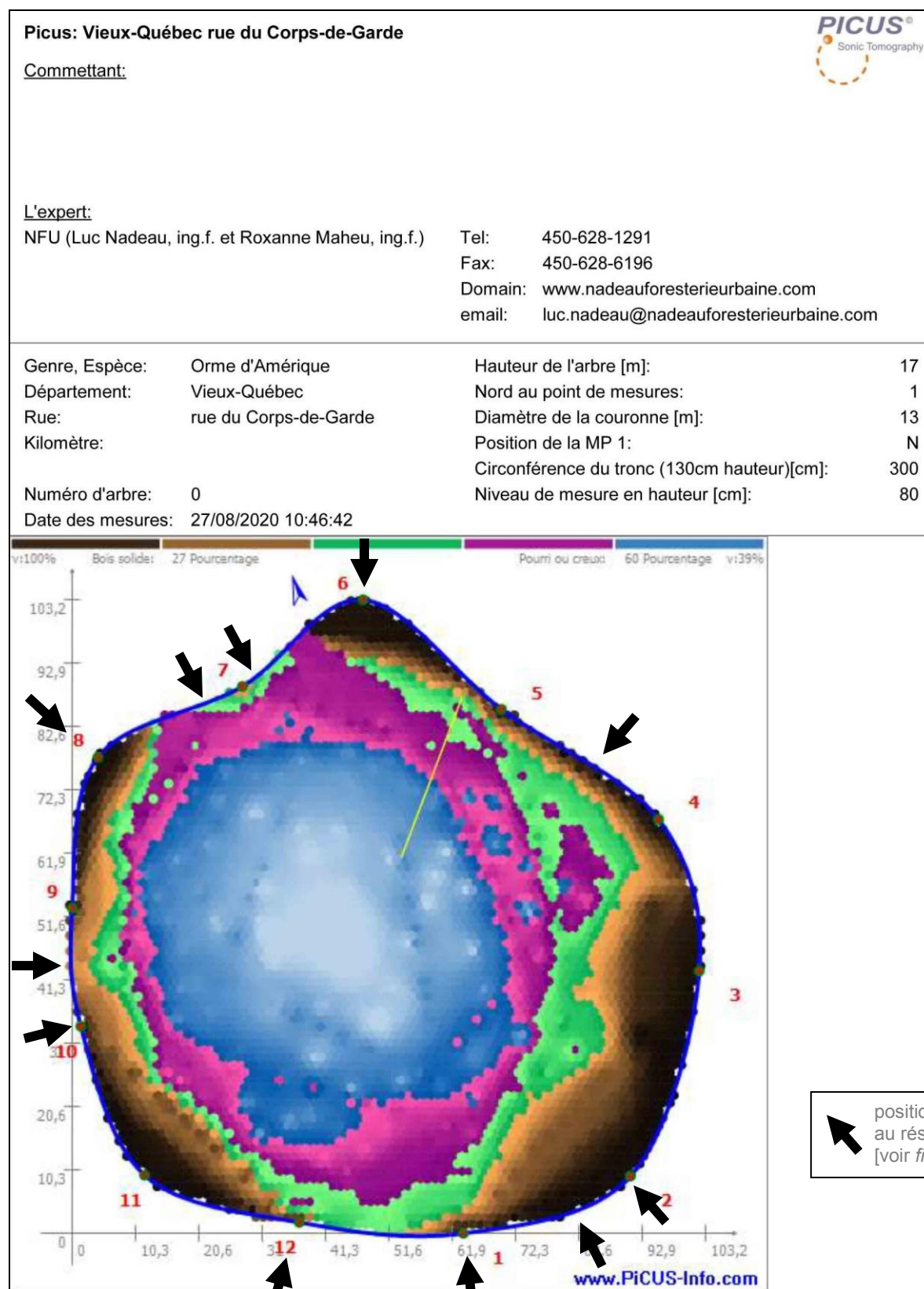
Photo 9 :
**Cavité suite à la coupe passée d'une
 branche principale à environ 3,5 m du
 sol**



Photo 10 :
**Cavité suite à la coupe passée d'une
 branche secondaire à environ 7 m du
 sol
 (cercle jaune)
 et
 fourche faible entre deux branches
 secondaires
 (cercle blanc)**

ANNEXE 2
*Tests sur le tronc
au tomographe
et au résistographe*

Figure 2 : Test au tomographe à 80 cm du sol



*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
 Expertise de la condition structurale de l'arbre
 et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*

Figure 3a : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #1

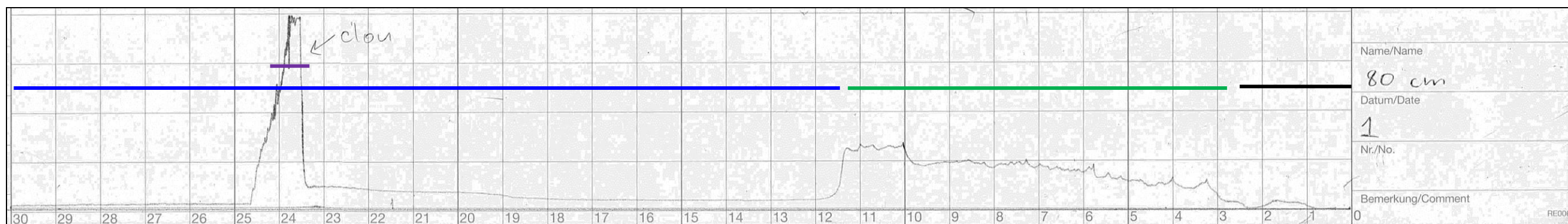


Figure 3b : Test au résistographe à 80 cm du sol, entre les capteurs #1 et #2

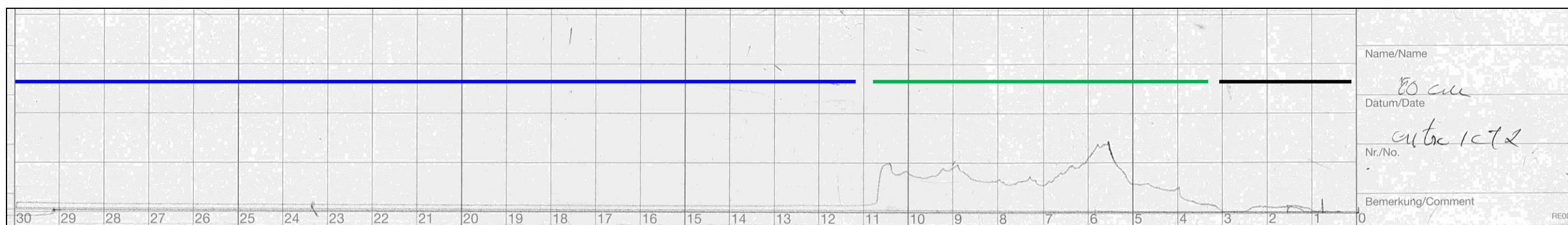
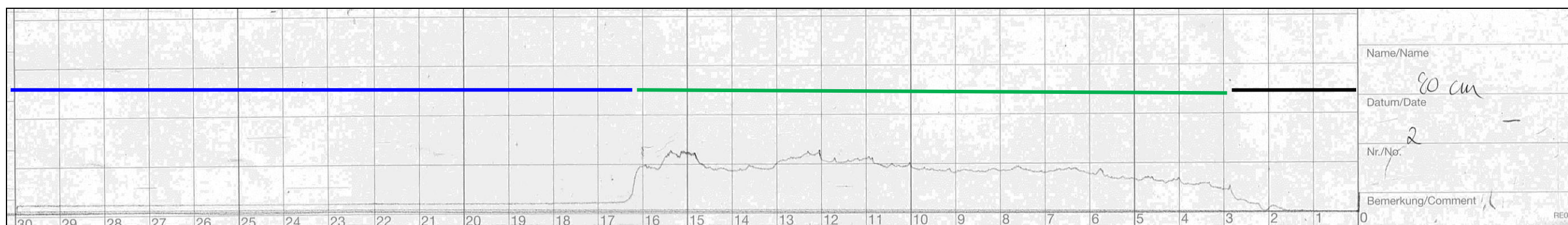


Figure 3c : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #2



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

Figure 3d : Test au résistographe à 80 cm du sol, entre les capteurs #4 et #5

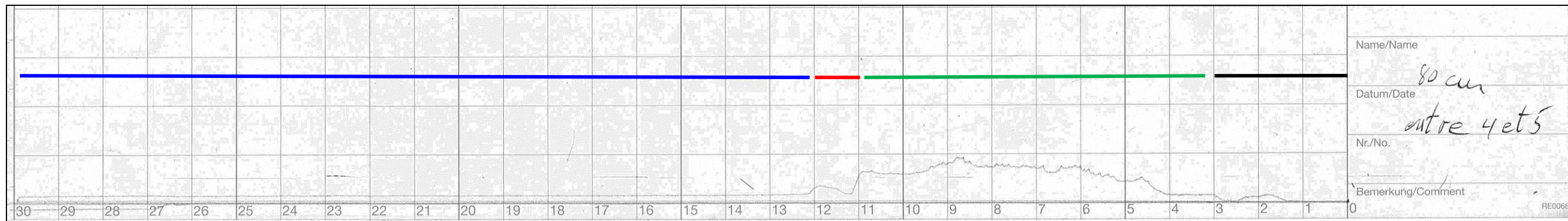


Figure 3e : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #6

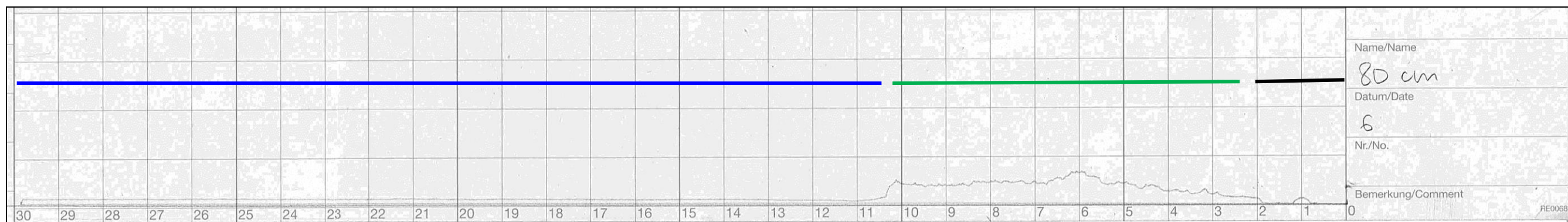
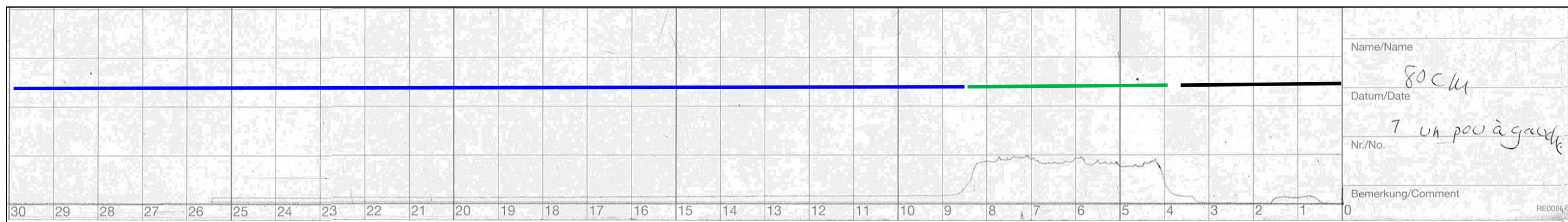


Figure 3f : Test au résistographe à 80 cm du sol, un peu à gauche du capteur #7



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

Figure 3g : Test au résistographe à 80 cm du sol, un peu à droite du capteur #7

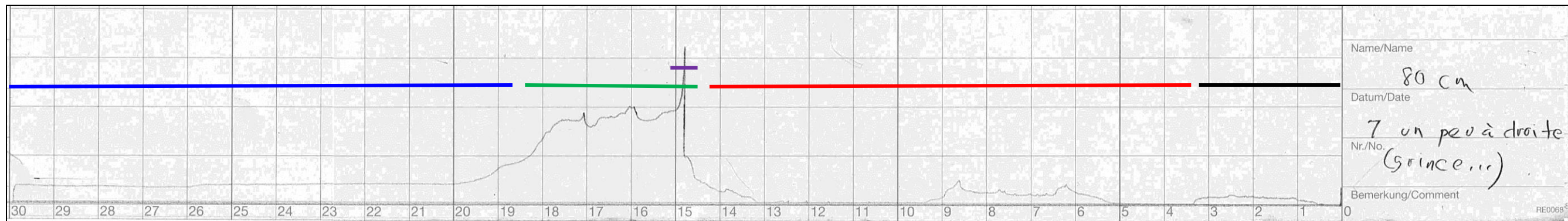


Figure 3h : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #8

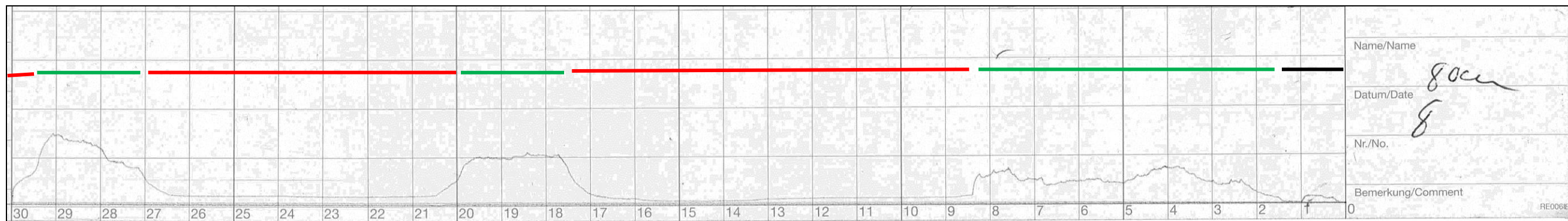
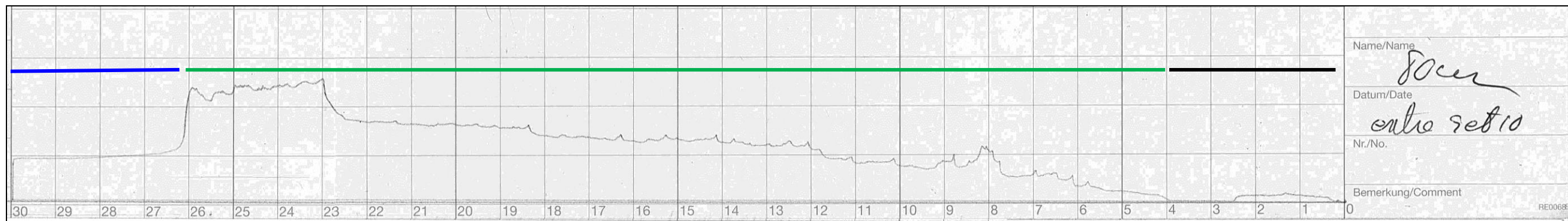


Figure 3i : Test au résistographe à 80 cm du sol, entre les capteurs #9 et #10



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

Figure 3j : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #10

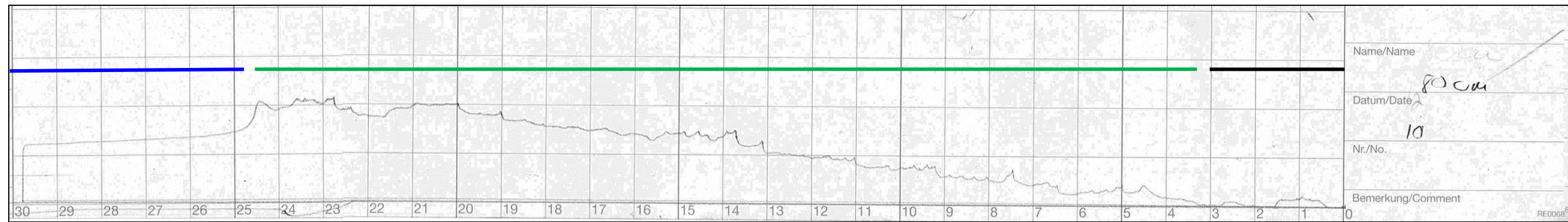
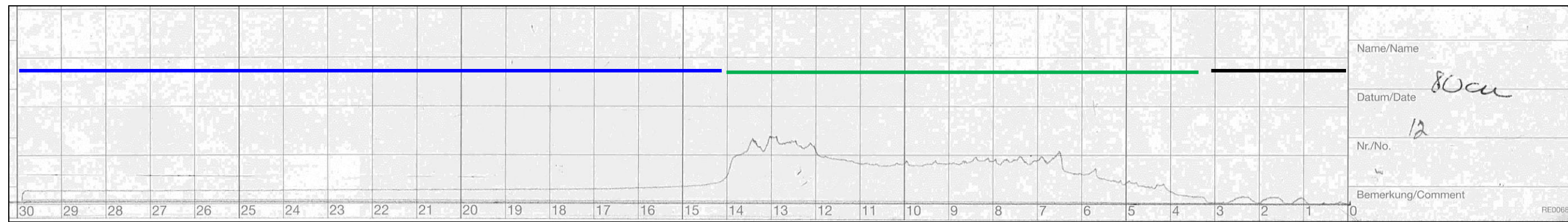


Figure 3k : Test au résistographe à 80 cm du sol, vis-à-vis le capteur #12



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche



Photo 11a :
Position des capteurs du tomographe à 80 cm du sol



Photo 11b :
Position des capteurs du tomographe à 80 cm du sol

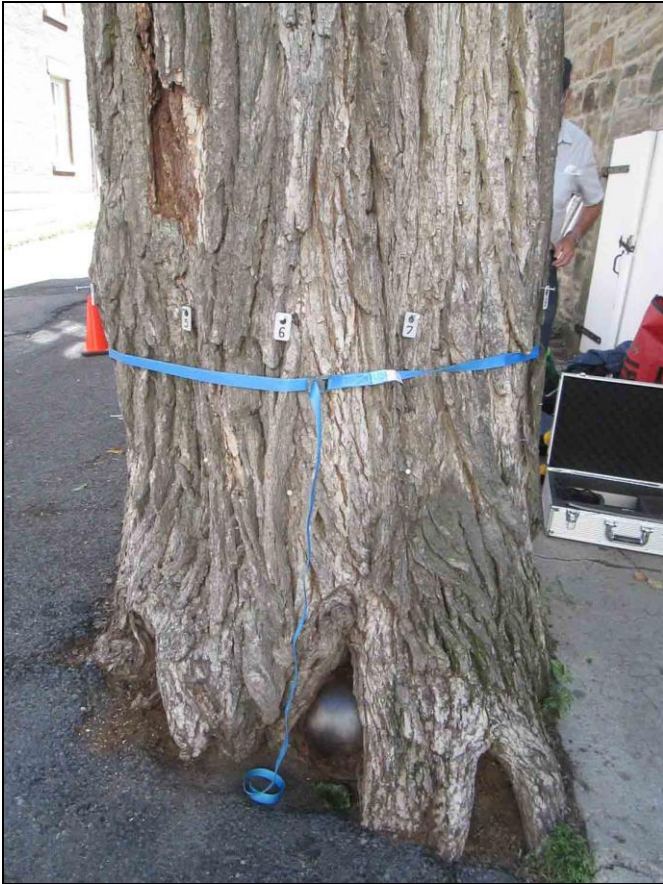


Photo 11c :
**Position des capteurs du
tomographe à 80 cm du sol**



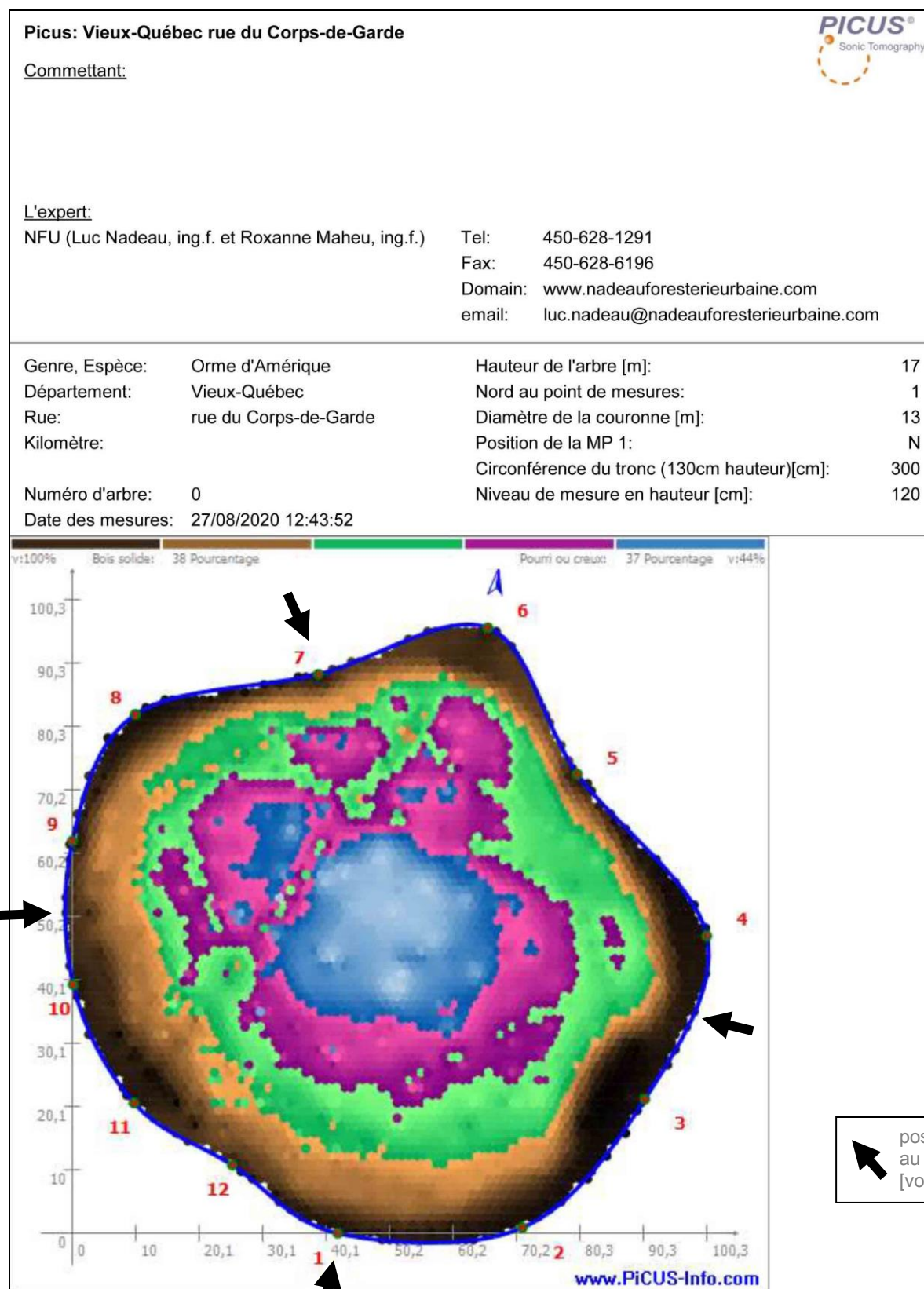
Photo 11d :
**Position des
capteurs du
tomographe à 80 cm
du sol**

*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
Expertise de la condition structurale de l'arbre
et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à
proximité*



Photo 11e :
**Position des capteurs du
tomographe à 80 cm du sol**

Figure 4 : Test au tomographe à 120 cm du sol



Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

Figure 5a : Test au résistographe à 120 cm du sol, vis-à-vis le capteur #1

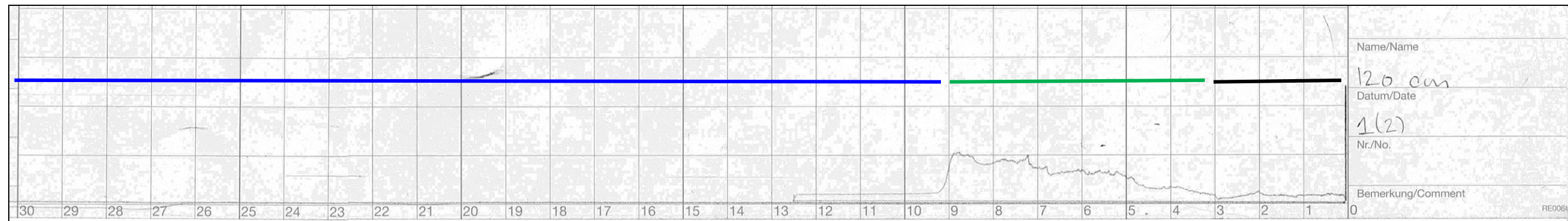


Figure 5b : Test au résistographe à 120 cm du sol, entre les capteurs #3 et #4

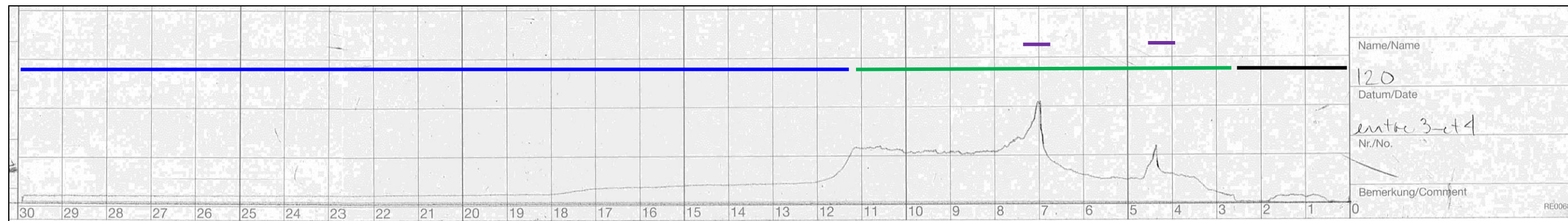
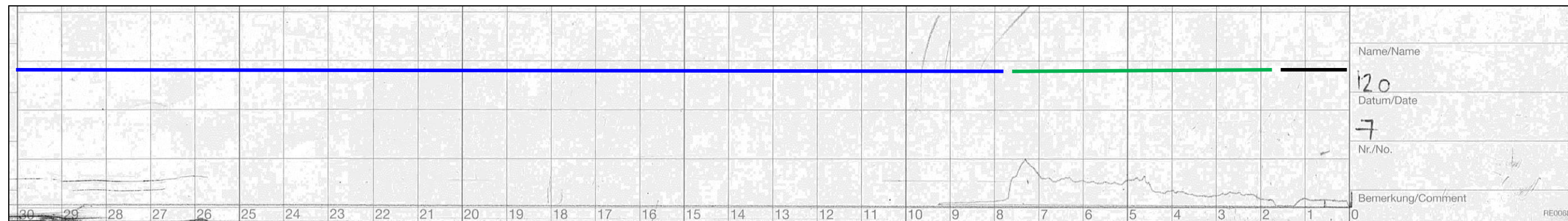


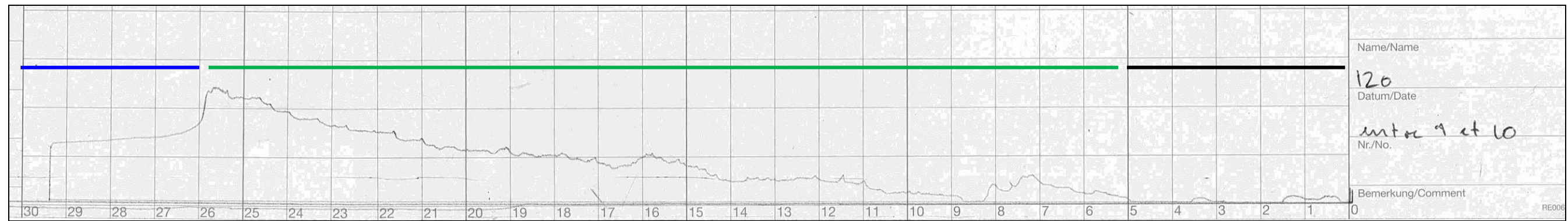
Figure 5c : Test au résistographe à 120 cm du sol, vis-à-vis le capteur #7



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

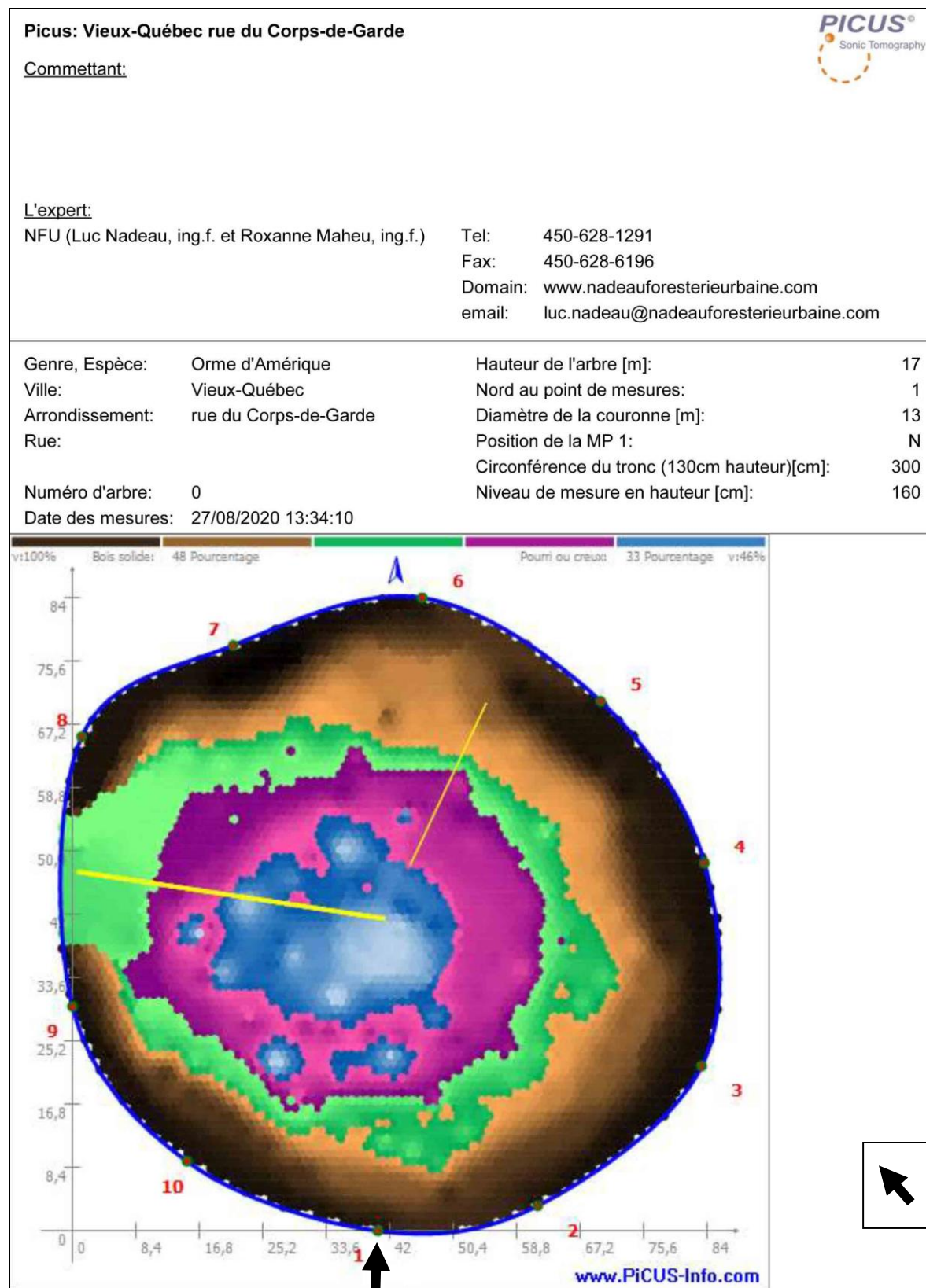
Figure 5d : Test au résistographe à 120 cm du sol, entre les capteurs #9 et #10



Légende d'interprétation du graphique :

- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

Figure 6 : Test au tomographe à 160 cm du sol

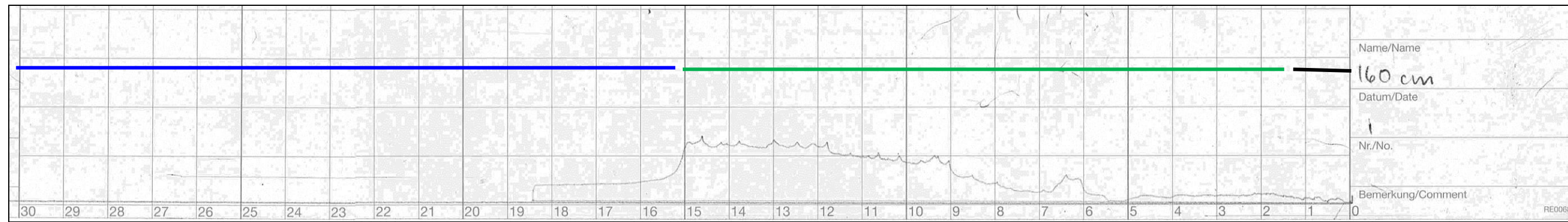


Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –

Expertise de la condition structurale de l'arbre

et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

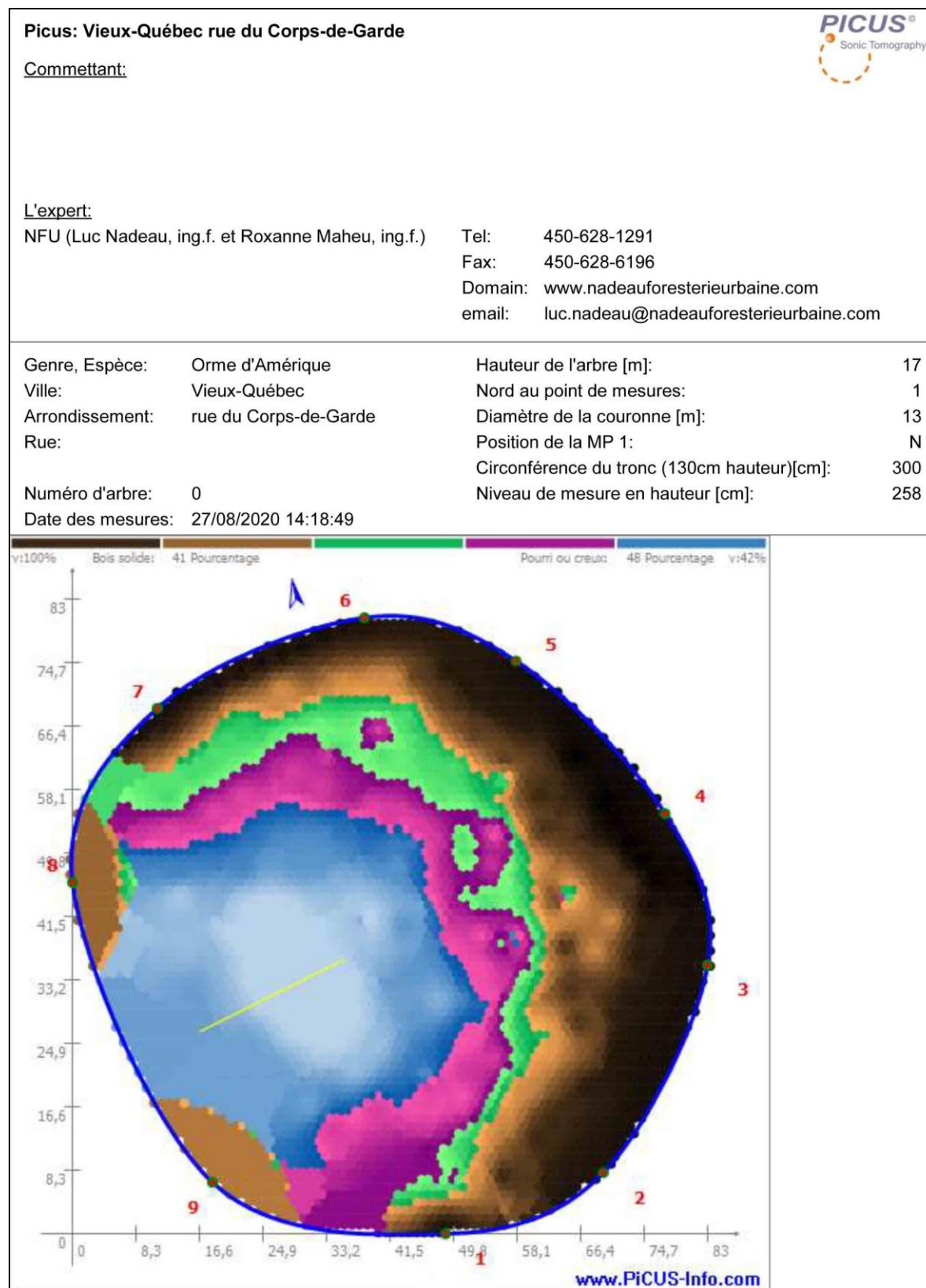
Figure 7a : Test au résistographe à 160 cm du sol, vis-à-vis le capteur #1



Légende d'interprétation du graphique :

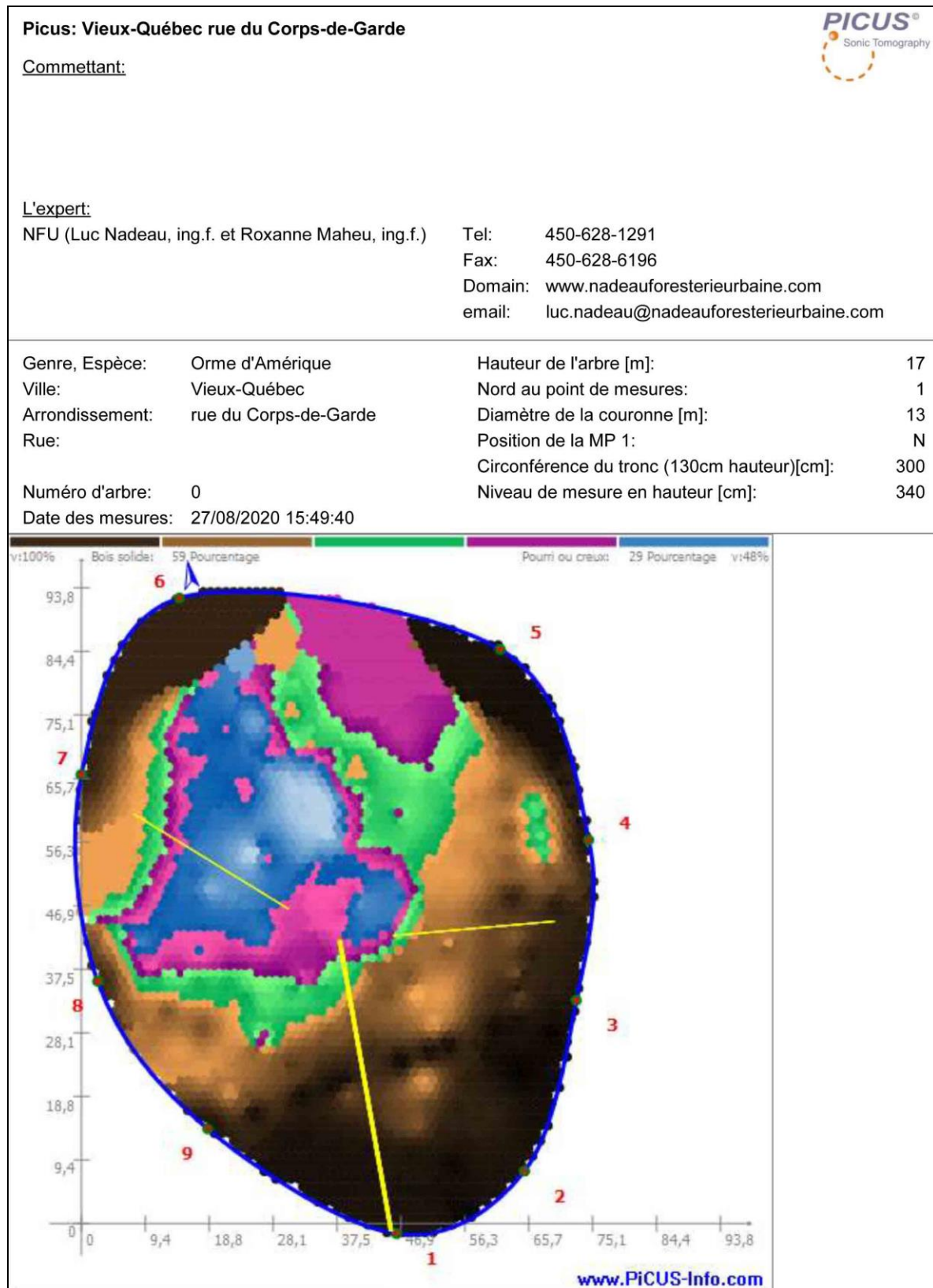
- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

Figure 8 : Test au tomographe à 258 cm du sol



*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
 Expertise de la condition structurale de l'arbre
 et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*

Figure 9 : Test au tomographe à 340 cm du sol



*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
 Expertise de la condition structurale de l'arbre
 et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*

Figure 10a : Test au résistographe au niveau des racines d'ancrage (position de référence entre les capteurs #3 et #4 du test à 80 cm du sol)

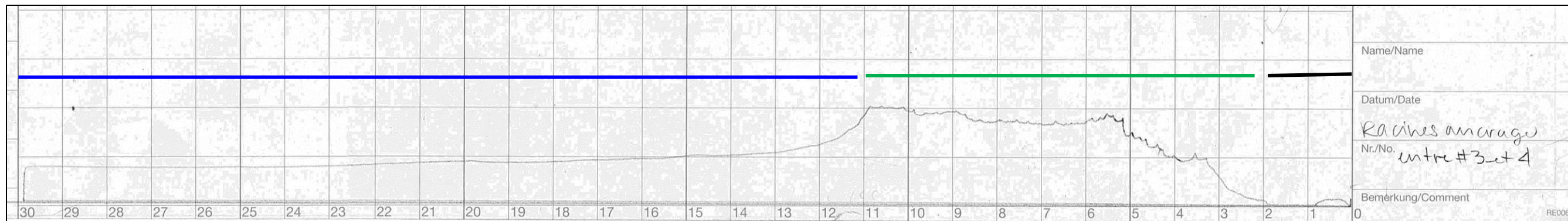
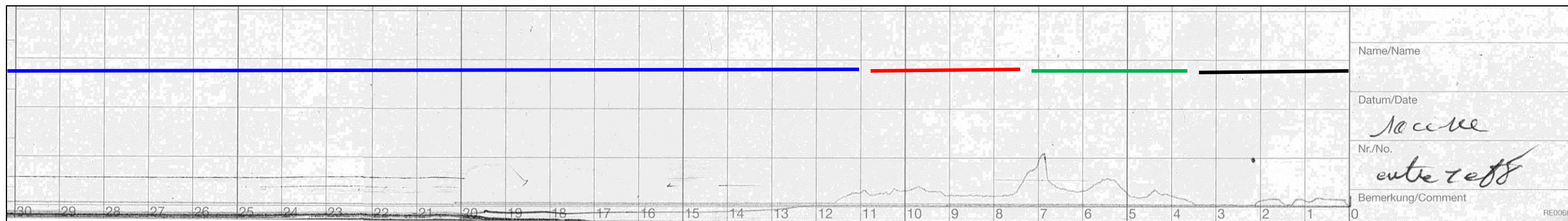


Figure 10a : Test au résistographe au niveau des racines d'ancrage (position de référence entre les capteurs #7 et #8 du test à 80 cm du sol)

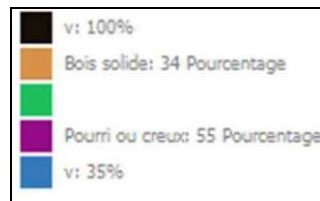
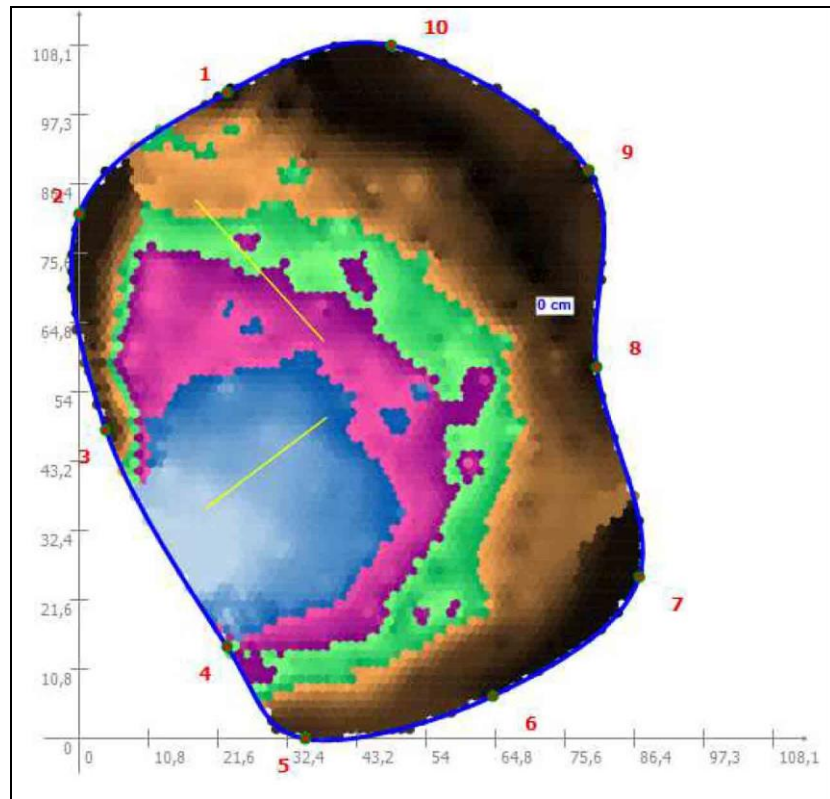


Légende d'interprétation du graphique :

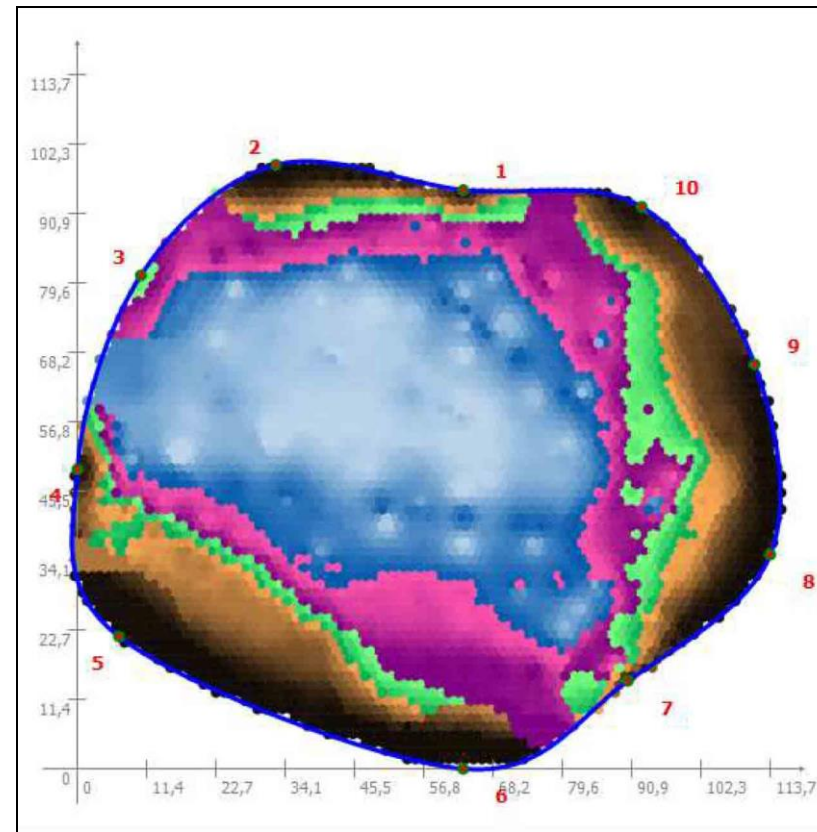
- écorce
- bois sain
- bois dégradé ou en cours de dégradation
- cavité
- clou ou roche

ANNEXE 3
*Comparaisons
entre les tests au tomographe
de 2009, 2018 et 2020*

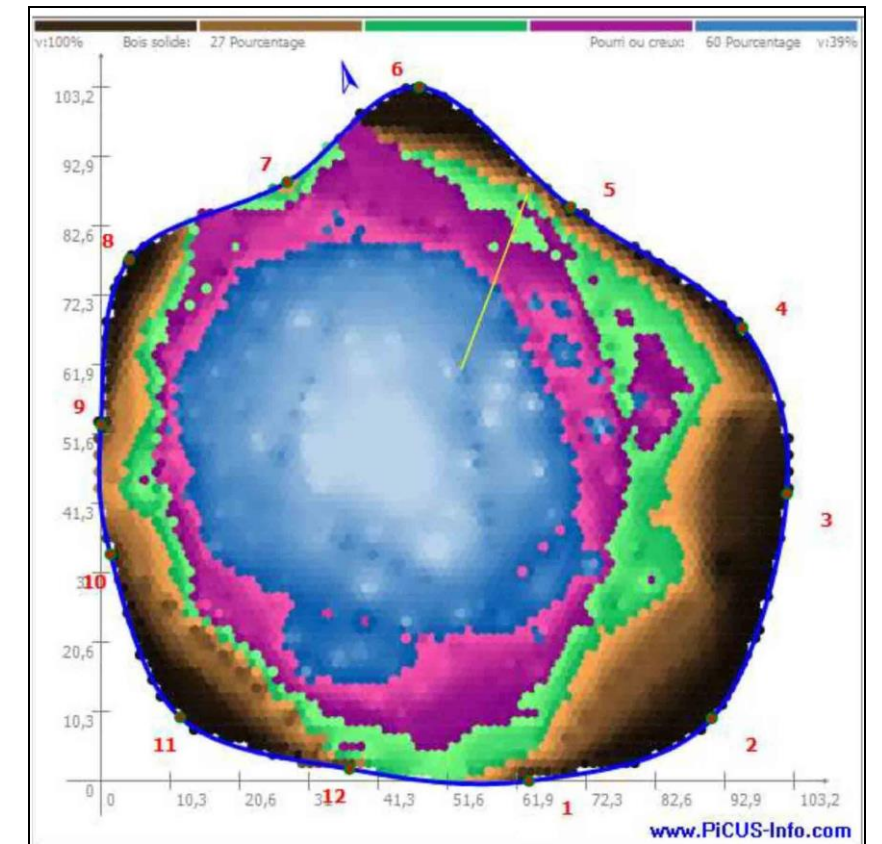
Figure 11 : Comparaison des tests au tomographe au niveau de 80 cm du sol – évolution de la carie entre les années 2008, 2009 et 2020



Année 2009



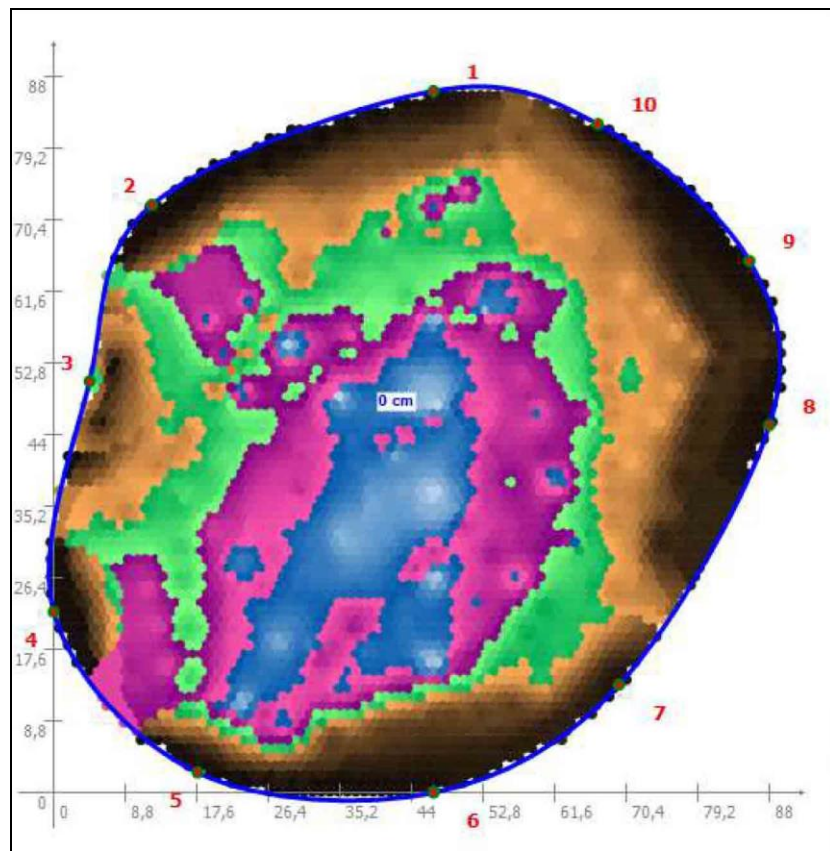
Année 2018



Année 2020

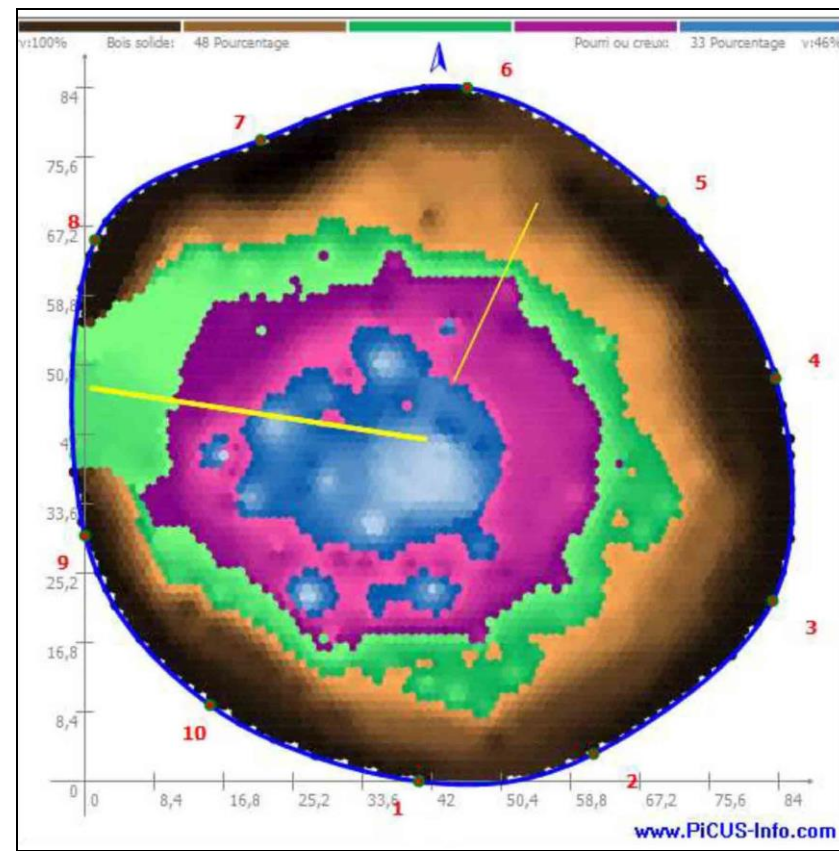
images des tests de 2009 et 2018: Ville de Québec
image du test de 2020: NFU

Figure 12 : Comparaison des tests au tomographe au niveau de 160 cm du sol – évolution de la carie entre les années 2009 et 2020



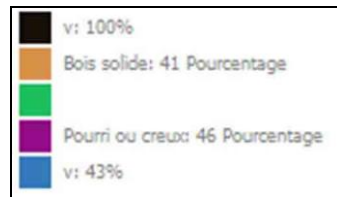
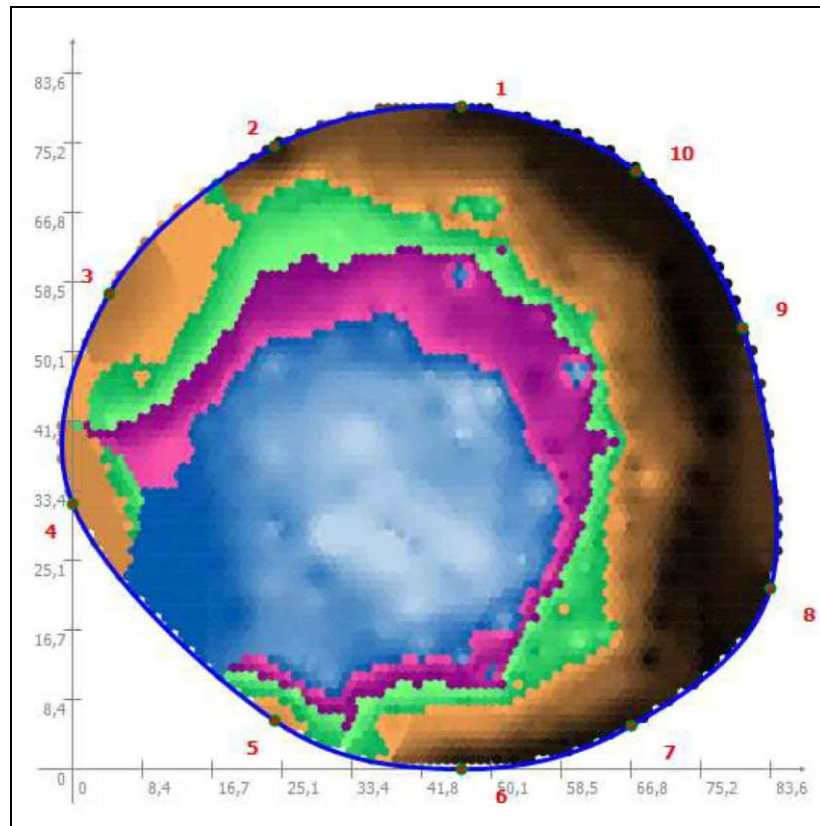
Année 2018

image du test de 2018: Ville de Québec
 image du test de 2020: NFU



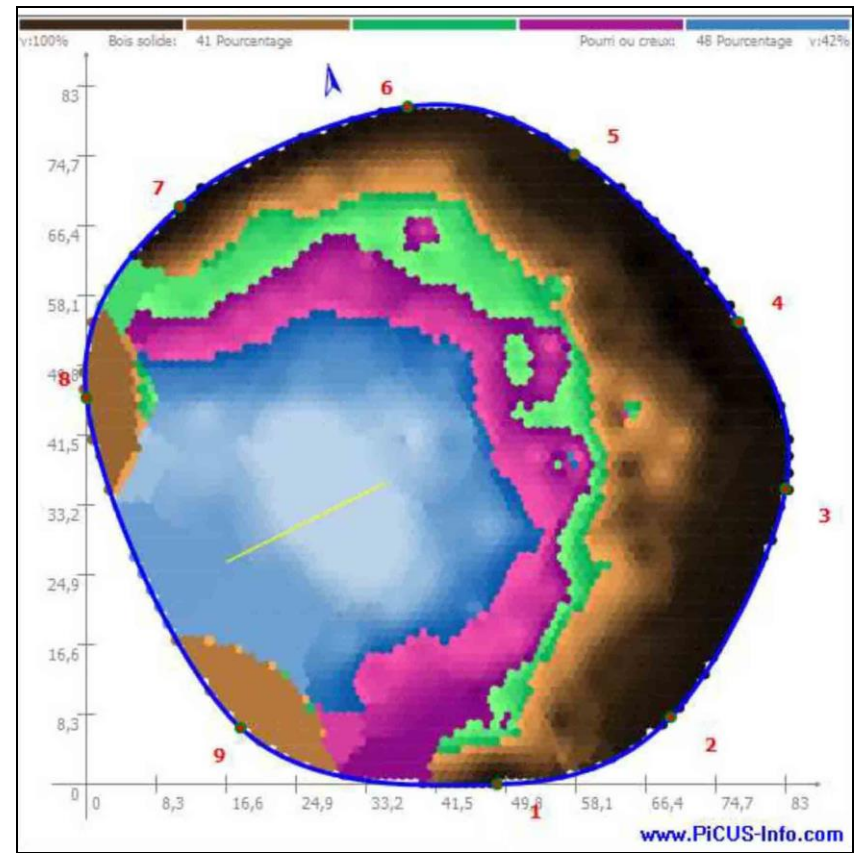
Année 2020

Figure 13 : Comparaison des tests au tomographe au niveau de 258 cm du sol – évolution de la carie entre les années 2008, 2009 et 2020



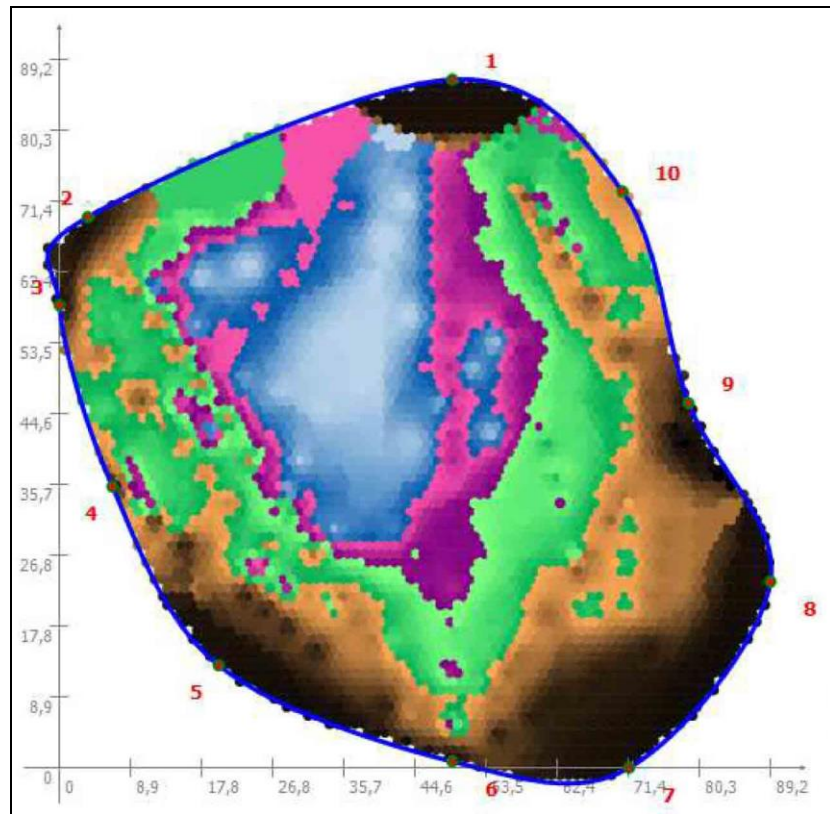
Année 2018

image du test de 2018: *Ville de Québec*
 image du test de 2020: *NFU*



Année 2020

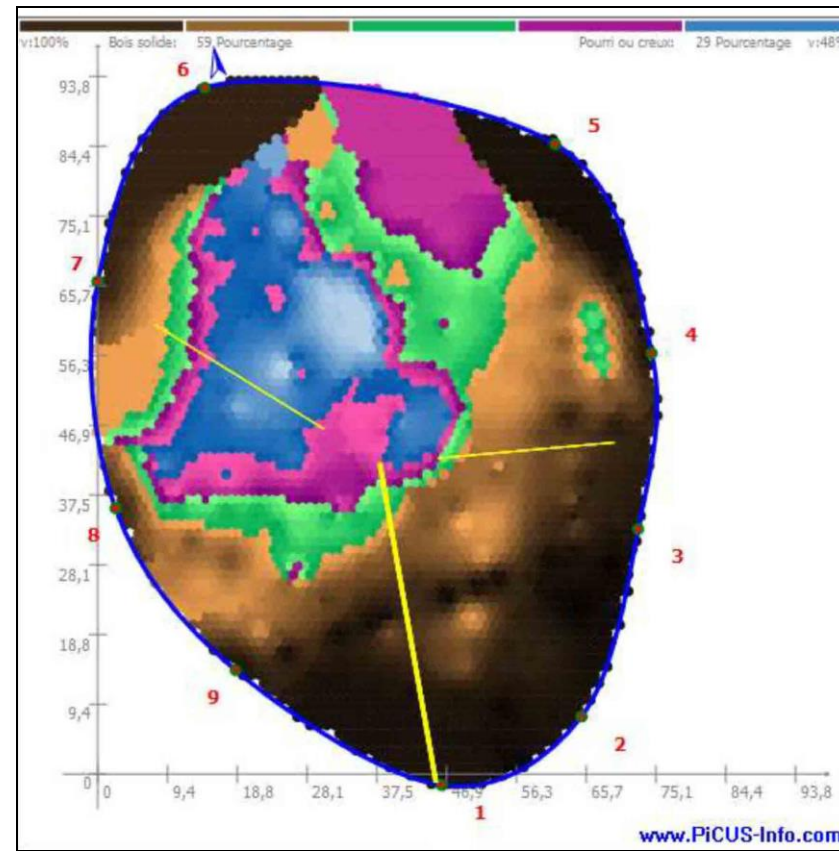
Figure 14 : Comparaison des tests au tomographe au niveau de 340 cm du sol – évolution de la carie entre les années 2008, 2009 et 2020



Année 2018

image du test de 2018: Ville de Québec

image du test de 2020: NFU



Année 2020

ANNEXE 4

Calculs de probabilités de risques pour la sécurité du voisinage selon la méthode QTRA

Calculs de probabilité avec la méthode QTRA

Calcul de la fréquence d'occupation de la cible sous la projection de la zone de chute de l'arbre

Hypothèses initiales posées :

- 400 000 touristes par année, durée moyenne d'arrêt de 20 secondes
- 7 650 véhicules (autos, calèches, autobus, etc.) par jour sur 6 mois par année (en période creuse), durée moyenne de passage de 2 secondes
- 10 000 véhicules par jour sur 6 mois par année (en période achalandée), durée moyenne de passage de 2 secondes
- 2 000 piétons (habitants et travailleurs) par jour, en tout temps de l'année, durée moyenne de passage sous l'arbre de 5 secondes

Calculs :

- Touristes :

<i>nombre total de touristes par année</i>	<i>400 000 personnes</i>
<i>durée moyenne d'arrêt</i>	<i>× 20 secondes</i>
<hr/>	
<i>total partiel de fréquentation pour les touristes</i>	<i>80 000 000 secondes ou 1 333 333 minutes</i>

- Véhicules :

<i>nombre total de véhicules sur 6 mois en période creuse</i> <i>[7650 véhicules/jour × 182,5 jours]</i>	<i>1 396 125 véhicules</i>
<i>nombre total de véhicules sur 6 mois</i> <i>en période achalandée</i> <i>[10000 véhicules/jour × 182,5 jours]</i>	<i>+ 1 825 000 véhicules</i>
<i>durée de passage</i>	<i>× 2 secondes</i>
<hr/>	
<i>total partiel de fréquentation pour les véhicules</i>	<i>6 442 250 secondes ou 107 371 minutes</i>

- Piétons :

<i>nombre total de piétons par année</i> <i>[2000 piétons/jour × 365 jours]</i>	<i>730 000 personnes</i>
<i>durée de passage</i>	<i>× 5 secondes</i>
<hr/>	
<i>total partiel de fréquentation pour les piétons</i>	<i>3 650 000 secondes ou 60 833 minutes</i>

- Durée totale du temps de fréquentation sous la projection de la zone de chute de l'arbre sur un horizon de 12 mois (1 an) par les gens à pieds ou dans les véhicules :

<i>total partiel de fréquentation pour les touristes</i>	<i>1 333 333 minutes</i>
<i>total partiel de fréquentation pour les véhicules</i>	<i>+ 107 371 minutes</i>
<i>total partiel de fréquentation pour les piétons</i>	<i>+ 60 833 minutes</i>
<i>temps total</i>	<i>1 501 537 minutes</i>
<i>nombre total de minutes durant 12 mois (1 an)</i>	<i>÷ 525 960 minutes</i>
<i>proportion pondérée totale du temps de fréquentation sous la projection de la zone de chute de l'arbre</i>	<i>2,85485 ou 2,85 / 1</i>

◆ **Évaluation du potentiel d'impact**

Principes de base pour la détermination du potentiel d'impact :

- l'évaluation du potentiel d'impact se fait à partir de données allométriques (i.e. étude de la croissance d'une partie d'un organisme par rapport à sa croissance globale; l'allométrie de l'arbre entier mesure le poids total ou la biomasse totale de l'arbre en fonction du diamètre du tronc à hauteur de poitrine)
- une équation dérivée des mesures de poids de poids d'arbres de différents diamètres est utilisée pour élaborer un groupe de données des estimations comparatives de poids d'arbres et de branches allant d'un diamètre de 10 à 600 mm
- les arbres et les branches de diamètre <600 mm sont représentés comme une fraction de l'arbre de diamètre de 600 mm
- si à 600 mm de diamètre correspond un poids moyen de 2 647,000 kg avec un potentiel d'impact de 1/1 alors à 960 mm de diamètre correspond donc un potentiel d'impact de 1/1

Selon la méthode QTRA :

- un tronc de 96 cm de diamètre a un potentiel d'impact évalué à **1 / 1**

◆ **Évaluation de la probabilité d'échec d'un tronc de 96 cm de diamètre**

Évaluation :

- un tronc de 96 cm de diamètre en milieu forestier a un potentiel d'échec (i.e. de bris) sur 12 mois évalué selon notre expérience à un intervalle se situant entre **1 / 100 et 1 / 1500** selon que l'on retienne un scénario plus « conservateur » ou plus « libéral »

◆ Calculs d'évaluation du risque de dommage significatif avec un scénario plus « conservateur » (i.e. plus risqué...)

Formule de base :

$$\text{Risque de dommage significatif} = \frac{\text{Fréquence d'occupation}}{\text{ou Valeur de la cible}} \times \text{Potentiel d'impact} \times \text{Probabilité d'échec}$$

Calcul :

fréquence d'occupation de la cible		2,85 / 1
potentiel d'impact		× 1 / 1
probabilité d'échec	×	1 / 100
risque de dommage significatif		1 / 35

◆ Calculs d'évaluation du risque de dommage significatif avec un scénario plus « libéral » (i.e. moins risqué...)

Formule de base :

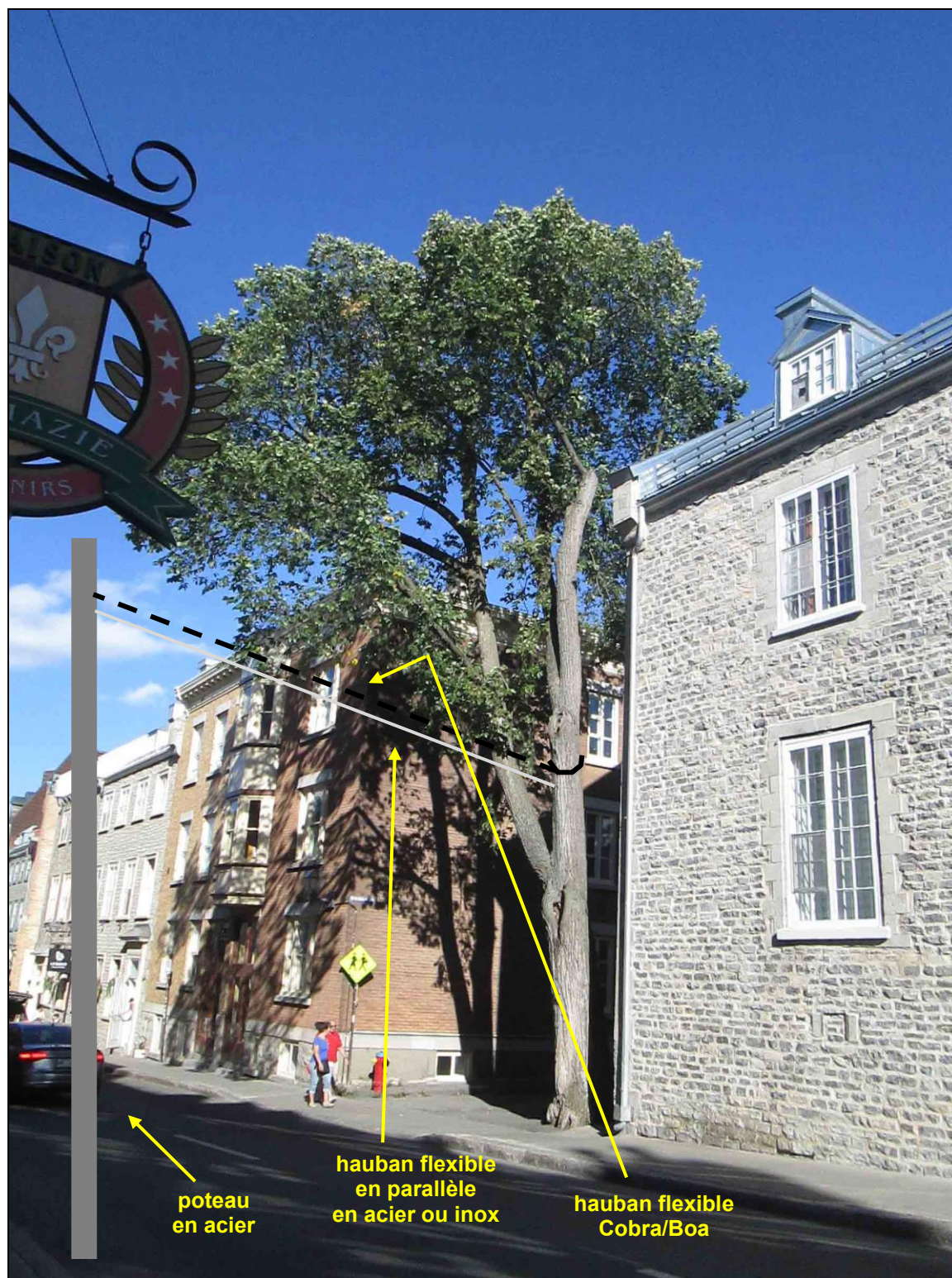
$$\text{Risque de dommage significatif} = \frac{\text{Fréquence d'occupation}}{\text{ou Valeur de la cible}} \times \text{Potentiel d'impact} \times \text{Probabilité d'échec}$$

Calcul :

fréquence d'occupation de la cible		2,85 / 1
potentiel d'impact		× 1 / 1
probabilité d'échec	×	1 / 1500
risque de dommage significatif		1 / 526

ANNEXE 5
*Ébauche d'une structure
de support de l'arbre*

Figure 15 : Illustration schématique du système de support pour l'orme au boulet – vue latérale



*Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
Expertise de la condition structurale de l'arbre
et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité*

Figure 16 : Illustration schématique du système de support pour l'orme au boulet – vue aérienne avec un système à quatre poteaux

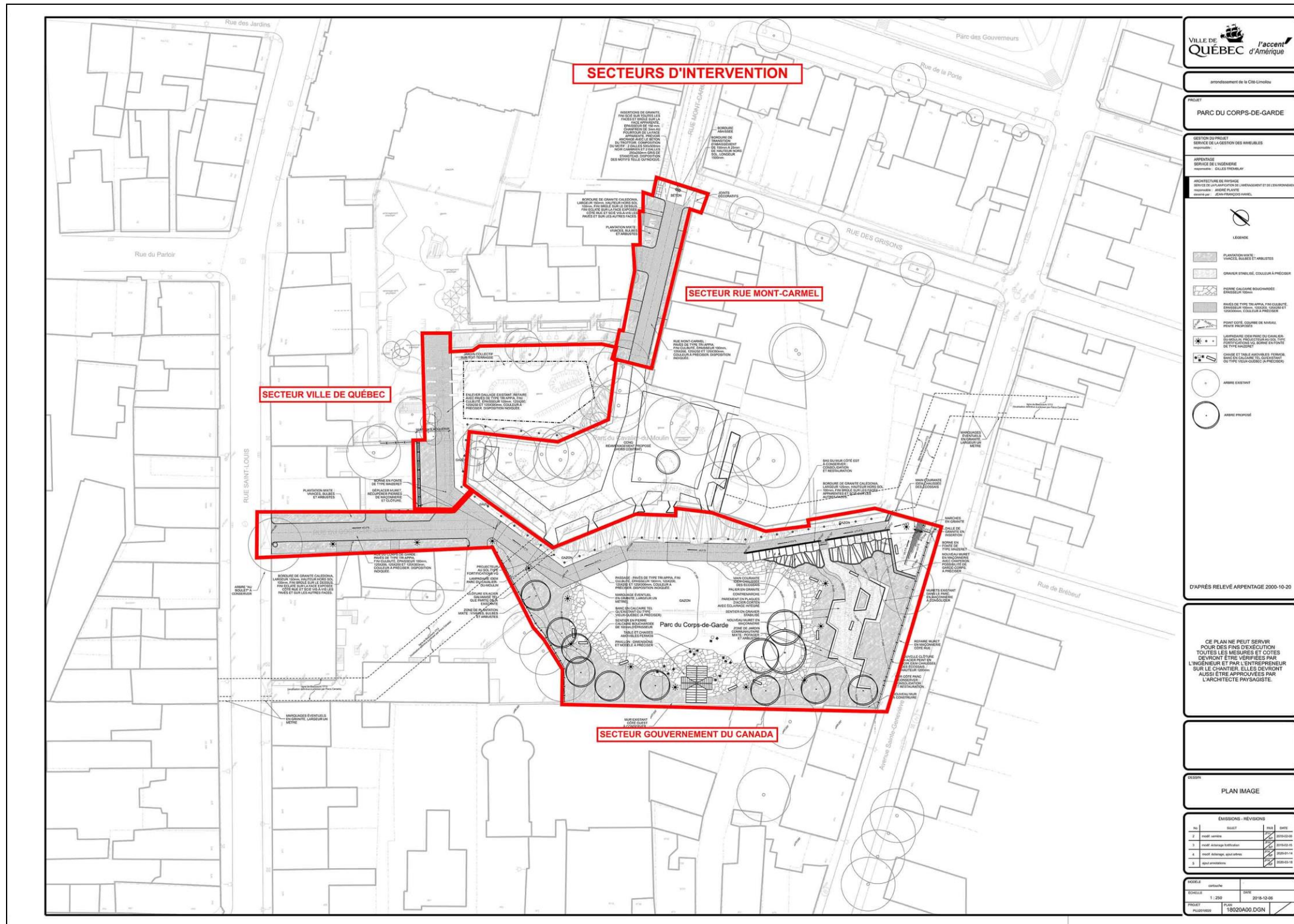


Figure 17 : Illustration schématique du système de support pour l'orme au boulet – vue aérienne avec un système à trois poteaux



ANNEXE 6
*Travaux de construction
et d'aménagement projetés*

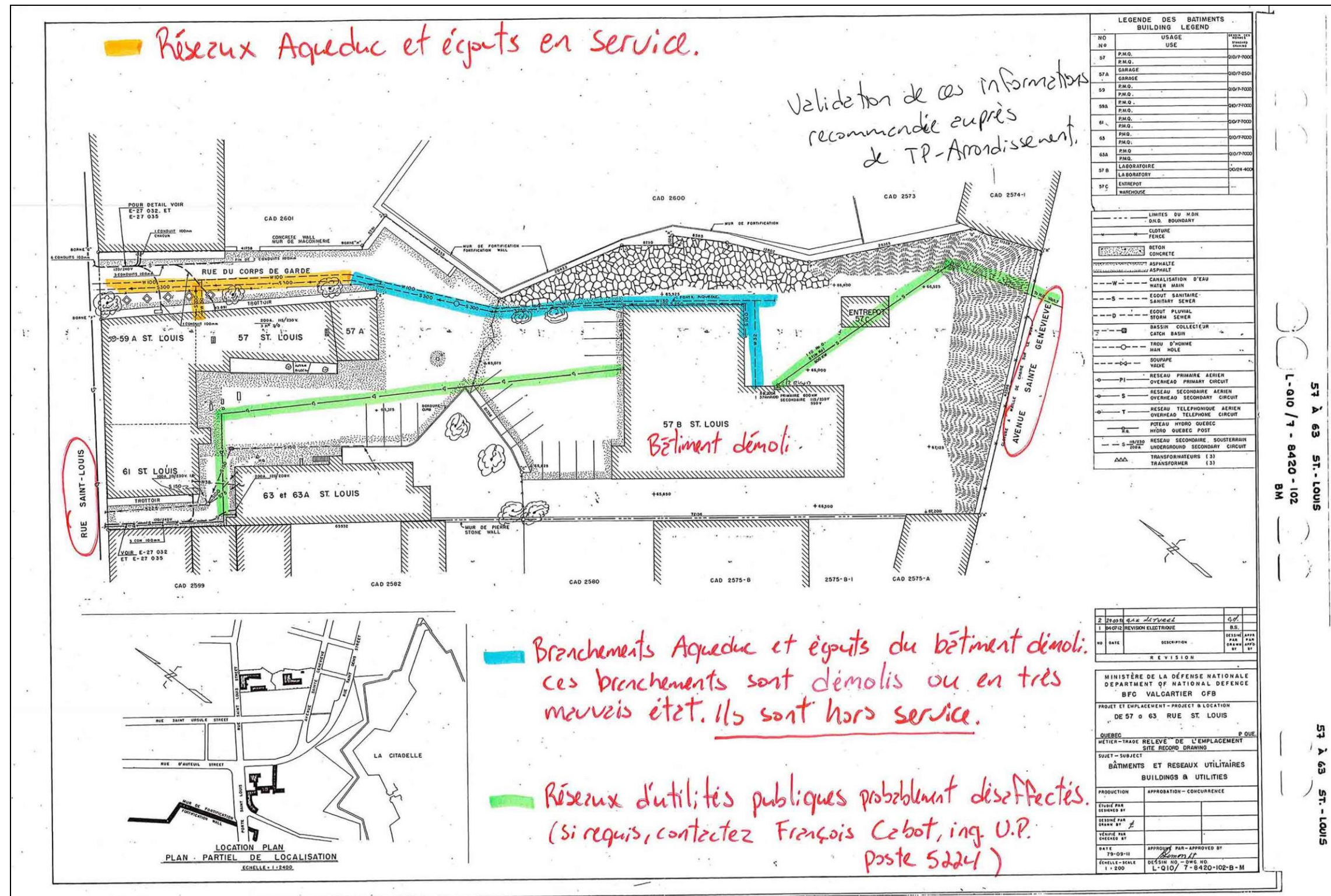
Plan 1 : Vue de l'ensemble du secteur d'intervention des travaux de construction projetés dans le secteur de la rue du Corps-de-Garde



source du plan: Ville de Québec

Orme au boulet sur la rue St-Louis dans le Vieux-Québec –
 Expertise de la condition structurale de l'arbre
 et perspective de conservation en lien avec des travaux futurs de construction et d'aménagement à proximité

Plan 2 : Localisation approximative des réseaux d'égout et d'aqueduc existants dans le secteur de la rue du Corps-de-Garde



source du plan: Ville de Québec